

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



Paralelní provoz sítí nízkého napětí
Parallel operation of low voltage power grids

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Čermák**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Paralelní provoz sítí nízkého napětí**
Parallel operation of low voltage power grids
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Typy sítí provozovaných na nízkém napětí
2. Požadavky na distributory z hlediska kvality elektrické energie
3. Opatření pro zajištění bezpečnosti práce v síti NN
4. Pozitiva a negativa paralelního provozu sítí NN
5. Modelace paralelního provozu vybraných sítí

Seznam doporučené odborné literatury:

- Toman, P. a kol.: Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 265 s. ISBN 978-80-01-04935-8.
- Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Ostrava: Montanex a.s., 2008. 364 s. ISBN 978-80-7225-291-6.2008.
- Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení I. Ostrava: 1990, 215 s. ISBN 80-7078-032-0.
- Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS)
- Vyhláška č. 41/2010 Sb.: Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Praha, 2010, ISSN 1211-1244.
- Příslušné technické normy - např. ČSN EN 50160 ed. 3 - Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí
- Interní provozní předpisy společnosti ČEZ Distribuce, a.s.
- Manuály programu Daisy Bizon Projektant


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019





prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *24. dubna 2019*


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Rád bych také poděkoval své rodině a přátelům, kteří mě při vytváření této práce podporovali, a bez jejichž pomoci bych tuto práci nemohl dokončit.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá paralelním propojením sítí nízkého napětí. Na začátku jsou popsány typy provozovaných sítí, včetně schémat. V další části jsou shrnuty jejich výhody a nevýhody jednotlivých sítí a také jejich obvyklé využití. Nejdříve je provedena modelace sítí v programu Daisy Bizon Projektant a pomocí tohoto softwaru je simulován ustálený a poruchový chod sítě. Díky tomu lze předpovědět, jak se toto propojení pravděpodobně projeví. Poté je provedena analýza naměřených dat, která určí, jak se reálně tyto sítě ovlivní. Výsledky se porovnávají s normou ČSN EN 50160 *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. V této práci jsou modelovány a analyzovány dvě reálné sítě.

Klíčová slova

paralelní provoz sítí, kvalita elektrické energie, sítě nízkého napětí, modelace sítí, selektivita jištění, ustálený chod sítě, analýza měření

Abstract

This diploma thesis deals with parallel connection of low voltage networks. At the beginning there are described types of operated networks, including schemes. The next part summarizes their advantages and disadvantages of individual networks and their usual usage. First, the network is modeled in Daisy Bizon Projektant, and this software is used to simulate the steady-state and failure of the network. This allows you to predict what effect will this link have on the network. Then, the measured data is analyzed to determine how these networks will be affected in real life. The results are compared with the *ČSN EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by the public distribution system*. In this diploma thesis two real networks are modeled and analyzed.

Key words

parallel operation of networks, quality of electric power, low voltage networks, network modeling, selectivity of fusing, steady running of network, measurement analysis

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam ilustrací a tabulek	11
1 Úvod	14
2 Typy sítí provozovaných na nízkém napětí	15
2.1 Základní pojmy	15
2.2 Typy sítí	15
3 Požadavky na distributory z hlediska kvality elektrické energie	18
3.1 Kvalita elektrické energie dle normy ČSN EN 50160	18
3.1.1 Všeobecné základní informace	18
3.1.2 Definice	19
3.1.3 Nízkonapěťové napájecí charakteristiky	20
3.1.4 Vysokonapěťové napájecí charakteristiky	24
3.2 Kvalita dodávky elektrické energie dle vyhlášky č. 41/2010 Sb.	28
3.2.1 Standard ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny	28
3.2.2 Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny	29
3.2.3 Standard kvality napětí	29
3.2.4 Standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality napětí	29
3.2.5 Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí	30
3.2.6 Ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny	30
3.2.7 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektrické energie	31
4 Opatření pro zajištění bezpečnosti práce v síti NN	34
4.1 Základní požadavky na bezpečnost	34
4.2 Prostory z hlediska úrazu elektrickým proudem	34
4.2.1 Základní členění prostor	34
4.2.2 Rozdělení napětí z hlediska úrazu elektrickým proudem	35
4.3 Úraz elektrickým proudem	35
4.4 Ochrana před úrazem elektrickým proudem	36
4.5 Vymezení pojmu živých a neživých částí rozvodných elektrických zařízení	36
4.5.1 Živé části	36
4.5.2 Neživé části	36
4.6 Prostředky základní ochrany	37
4.6.1 Rozdělení ochrany	37

4.6.2	Požadavky na jednotlivé druhy ochran	38
5	Pozitiva a negativa paralelního provozu sítí NN.....	42
5.1	Výhody paralelního provozu sítí nn	42
5.1.1	Spolehlivost.....	42
5.1.2	Kvalita napětí	42
5.1.3	Využití transformátorů	43
5.1.4	Ztráty	43
5.2	Nevýhody paralelního provozu	44
5.2.1	Zkratové proudy	44
5.2.2	Vyšší cena	44
5.2.3	Zavlečení parazitních jevů do jiné sítě	44
6	Modelace paralelního provozu vybraných sítí	45
6.1	Síť 1	45
6.1.1	Modelace sítě 1 v programu Daisy Bizon Projektant.....	45
6.1.2	Analýza sítě 1 z naměřených dat.....	53
6.1.3	Porovnání propojené a rozpojené sítě 1	58
6.2	Síť 2.....	68
6.2.1	Modelace sítě 2 v programu Daisy Bizon Projektant.....	68
6.2.2	Analýza sítě 2 z naměřených dat.....	73
6.2.3	Porovnání propojené a rozpojené sítě 2	75
	Závěr	87
	Seznam literatury	89
	Seznam příloh	90

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol/Zkratka	Význam	Jednotka
<i>a</i>	dosah ruky – směr nahoru	m
<i>b</i>	dosah ruky – směr vodorovně	m
<i>c</i>	dosah ruky – směr dolů	m
<i>CAIDI_h</i>	průměrné přerušení zákazníka hladiny napětí	minut/přerušení
<i>CAIDI_s</i>	průměrné přerušení	minut/přerušení
<i>DTS</i>	distribuční transformační stanice	-
<i>h</i>	napěťová hladina (nn, vn, vvn)	-
<i>HDO</i>	hromadné dálkové ovládání	-
<i>i</i>	pořadové číslo manipulačního kroku <i>j</i> -té události	-
<i>I</i>	proud	A
<i>IPXX</i>	stupeň krytí el. zařízení dle ČSN EN 60 529	-
<i>IPXXB</i>	stupeň krytí el. zařízení dle ČSN EN 60 529	-
<i>j</i>	událost	-
<i>n_{jh}</i>	celkový počet zákazníků napájených z napěťové hladiny <i>h</i>	-
<i>n_{jhi}</i>	počet zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z napěťové hladiny <i>h</i> , kterým bylo způsobeno přerušení dodávky elektrické energie v příslušné kategorii v <i>i</i> -tém manipulačním kroku <i>j</i> -té události	-
<i>nn</i>	nízké napětí	-
<i>N_s</i>	celkový počet odběratelů	-
<i>N_{sh}</i>	celkový počet odběratelů připojených do napěťové hladiny	-
<i>N_{snn}</i>	celkový počet zákazníků připojených na hladině nn	-
<i>N_{svn}</i>	celkový počet zákazníků připojených na hladině vn	-
<i>N_{svvn}</i>	celkový počet zákazníků připojených na hladině vvn	-
<i>P</i>	činný výkon	W
<i>P_{lt}</i>	dlouhodobá míra vjemu flikru	-
<i>P_{st}</i>	krátkodobá míra vjemu flikru	-
<i>PEN</i>	vodič slučující funkci ochranného a středního vodiče	-

Q	jalový výkon	var
RS	rozpojovací skříň	-
$SAIDI_h$	trvání přerušení zákazníka hladiny napětí	minut/rok/zákazník
$SAIDI_s$	trvání přerušení	minut/rok/zákazník
$SAIFI_h$	četnost přerušení zákazníka hladiny napětí	přerušení/rok/zákazník
$SAIFI_s$	četnost přerušení	přerušení/rok/zákazník
THD	zkreslení napájecího napětí	%
t_{ji}	doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události	minut
t_{sj}	součet všech dob trvání přerušení dodávky elektrické energie	minut
U_c	dohodnuté napájecí napětí	V
U_n	jmenovité napětí sítě	V
U_{nes}	nesymetrie napětí	%
vn	vysoké napětí	-
vvn	velmi vysoké napětí	-
σ	Hustota odběru elektrické energie	MW.km ⁻²

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 2.1 - paprsková síť [2]	16
Obrázek 2.2 - průběžná síť [2]	16
Obrázek 2.3 - okružní síť [2].....	17
Obrázek 2.4 - mřížová síť [2].....	17
Obrázek 3.1 - úrovně napětí na frekvenci signálů v procentech U_n ve veřejných distribučních sítích nn [4].....	24
Obrázek 3.2 - úrovně napětí na frekvenci signálů v procentech U_c ve veřejných distribučních sítích vn [4].....	28
Obrázek 4.1 - znázorněný možný dosah ruky ve vodorovném a svislém směru od stanoviště S [7]....	38
Obrázek 6.1 - legenda značek modelace	46
Obrázek 6.2 - celá síť 1 modelována v Daisy Bizon Projektant	46
Obrázek 6.3 - síť 1 s vyznačenými odběry, rozpojovacími skříněmi a DTS	47
Obrázek 6.4 - vyznačení včasne neodpojených odběrů v rozpojeném stavu	50
Obrázek 6.5 - vyznačení včasne neodpojených odběrů v propojeném stavu	52
Obrázek 6.6 - mapa celé analyzované sítě 1 s vyznačenými DTS	54
Obrázek 6.7 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS1.....	55
Obrázek 6.8 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS2.....	56
Obrázek 6.9 - napětí na distribučním transformátoru DTS1	58
Obrázek 6.10 - napětí na distribučním transformátoru DTS2	59
Obrázek 6.11 - napětí v místě propojení – vývod sítě A	59
Obrázek 6.12 - napětí v místě propojení – vývod sítě B	60
Obrázek 6.13 - nesymetrie napětí na obou distribučních transformátorech DTS1 a DTS2	61
Obrázek 6.14 - nesymetrie napětí v místě spojení.....	61
Obrázek 6.15 - proud v místě propojení, vývod do sítě B.....	62
Obrázek 6.16 - proud v místě propojení, vývod do sítě A	62
Obrázek 6.17 - proud protékající transformátorem DTS1	62
Obrázek 6.18 - proud protékající transformátorem DTS2	63
Obrázek 6.19 - tok činného výkonu směrem do sítě A	64
Obrázek 6.20 - tok činného výkonu směrem do sítě B	64
Obrázek 6.21 - činný výkon protékající transformátorem DTS1 směrem do distribuční sítě.....	65
Obrázek 6.22 - činný výkon protékající transformátorem DTS2 směrem do distribuční sítě.....	65
Obrázek 6.23 - tok jalového výkonu v místě propojení sítě, vývod do sítě B.....	66
Obrázek 6.24 - tok jalového výkonu v místě propojení sítě, vývod do sítě A	66
Obrázek 6.25 - tok jalového výkonu na transformátoru DTS1	66
Obrázek 6.26 - tok jalového výkonu na transformátoru DTS2	66
Obrázek 6.27 - mapa vn sítě v okolí analyzované nn sítě	67
Obrázek 6.28 - síť 2 s vyznačenými odběry, rozpojovacími skříněmi a DTS	68
Obrázek 6.29 - vyznačení včasne neodpojených odběrů v síti 2 v rozpojeném stavu	71
Obrázek 6.30 - vyznačení včasne neodpojených odběrů v síti 2 v propojeném stavu	72
Obrázek 6.31 - mapa celé analyzované sítě 2 s vyznačenými DTS	73
Obrázek 6.32 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS3.....	74
Obrázek 6.33 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS4.....	74

Obrázek 6.34 – napětí na distribučním transformátoru DTS3	76
Obrázek 6.35 - napětí na distribučním transformátoru DTS4	77
Obrázek 6.36 - napětí v rozpojovací skříni RS23 vývod RS24.....	77
Obrázek 6.37 - napětí v rozpojovací skříni RS23 vývod RS21.....	78
Obrázek 6.38 - napětí v rozpojovací skříni RS22	78
Obrázek 6.39 - nesymetrie napětí na obou distribučních transformátorech DTS3 a DTS4	79
Obrázek 6.40 - nesymetrie napětí v ostatních místech měření	80
Obrázek 6.41 - proud v místě propojení, vývod RS21	81
Obrázek 6.42 - proud v místě propojení, vývod RS24	81
Obrázek 6.43 - proud na distribučním transformátoru DTS3.....	81
Obrázek 6.44 - proud na distribučním transformátoru DTS3.....	82
Obrázek 6.45 - proud měřený v RS22	83
Obrázek 6.46 - jalový výkon měřený v RS22	83
Obrázek 6.47 - činný výkon měřený v RS22	83
Obrázek 6.48 - činný výkon měřený na DTS3	84
Obrázek 6.49 - činný výkon měřený na DTS4.....	84
Obrázek 6.50 - činný výkon v RS23 - vývod RS21	85
Obrázek 6.51 - činný výkon v RS23 - vývod RS24	85
Obrázek 6.52 - jalový výkon měřený na DTS4.....	85
Obrázek 6.53 - jalový výkon měřený na DTS3.....	85
Obrázek 6.54 - jalový výkon měřený v RS23 - vývod RS24	86
Obrázek 6.55 - jalový výkon měřený v RS23 - vývod RS21	86
 Tabulka 3.1 - úrovně jednotlivých harmonických v místě předávání v procentech U_n pro řady harmonických až do 25 [4].....	23
Tabulka 3.2 - úrovně jednotlivých harmonických v místě předávání v procentech U_n pro řady harmonických až do 25 [4].....	27
Tabulka 3.3 - přehledná tabulka údajů pro výpočetní postup [6].....	32
Tabulka 3.4 - přehledná tabulka údajů pro výpočetní postup [6].....	33
Tabulka 4.1 - meze bezpečných napětí [7].....	35
Tabulka 6.1 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 1 - rozpojený stav.....	48
Tabulka 6.2 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 1 - propojený stav	48
Tabulka 6.3 - pojistky v rozpojovacích skříních sítě 1	49
Tabulka 6.4 - hodnoty z měření sítě 1 - percentil 5.....	57
Tabulka 6.5 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 2 - rozpojený stav.....	69
Tabulka 6.6 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 2 - propojený stav	69
Tabulka 6.7 - pojistky v rozpojovacích skříních sítě 2.....	70
Tabulka 6.8 - vypínací časy odběru 25 při různých pojistkách.....	72
Tabulka 6.9 - hodnoty z měření sítě 2 - percentil 5.....	75
 Tabulka A.1 - napětí v odběrech (rozpojeno/spojeno) pro ustálený chod sítě 1	I
Tabulka A.2 - napětí v odběrech (rozpojeno/spojeno) pro ustálený chod sítě 2	III
 Tabulka B.1- vypínací časy odběrů v rozpojeném stavu sítě 1	IV

Tabulka B.2 - vypínací časy v rozpojeném stavu sítě 1 (úprava pojistky v RS3 - 100 A, RS4 - 100 A)V	
Tabulka B.3 - vypínací časy v propojeném stavu sítě 1 (pojistky RS6 - 63 A, RS4 - 100 A, RS3 - 125 A)	VI
Tabulka B.4 - vypínací časy odběrů v rozpojeném stavu sítě 2	VII
Tabulka B.5 - vypínací časy v rozpojeném stavu sítě 2 (úprava pojistky v RS21 - 100 A).....	VIII
Tabulka B.6 - vypínací časy v propojeném stavu sítě 2 (pojistky RS21 - 100 A, RS23 - 50 A)	IX

1 Úvod

Tématem této práce je paralelní provoz sítí nízkého napětí. Existuje řada typů sítí a to, jak jsou provozované. Nejčastěji je to v paprskovém zapojení. Popsány jsou i ostatní typy s jejich přednostmi a nedostatky včetně jejich využití. Tato práce se zabývá nejen sítěmi jako takovými, ale hlavně tím, jaký dopad na kvalitu distribuované elektrické energie má propojení dvou různých sítí nízkého napětí.

Každý distributor elektrické energie v ČR zodpovídá za kvalitu elektřiny, která je dodávána odběratelům. Tato kvalita je stanovena normou *ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Ta obsahuje všechna potřebná kritéria a charakteristiky, která předepisují požadovanou kvalitu elektrické energie. Tato norma je popsána v kapitole 3.1 a jsou zde uvedeny všechny měřené charakteristiky. S touto normou je spojená i vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. V této vyhlášce je uvedeno vše potřebné pro distributory a také pro odběratele např. ukončení přerušení dodávky elektrické energie, reklamace kvality dodávky, výpočet ukazatelů nepřetržitosti, standardy dodržení plánovaného omezení nebo přerušení dodávky elektřiny. U sítí nízkého napětí je nutné provádět revize, opravy či údržbové práce. S tím souvisí i předepsaná bezpečnost pro práci na sítích nízkého napětí. To je zpracováno v kapitole 4, která vychází z podnikové normy PNE 33 0000-1 ed. 6. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. Na konci teoretické části jsou sepsána pozitiva a negativa paralelního provozu sítí nízkého napětí.

Ve spolupráci s distribuční firmou ČEZ Distribuce a.s. je provedena modelace a následná analýza dvou distribučních sítí. Tyto sítě jsou reálně provozovány v distribuční soustavě a bylo na nich provedeno měření. Toto měření probíhalo na podzim minulého roku, kdy se tyto dvě sítě na určitou dobu propojily. Tyto sítě jsou modelovány v softwaru Daisy Bizon Projektant, pomocí kterého je provedena simulace ustáleného chodu a poruch. Z toho jsou vyvozeny předpoklady tohoto propojení. Ty jsou poté potvrzeny či vyvráceny analýzou naměřených dat z těchto sítí.

2 Typy sítí provozovaných na nízkém napětí

2.1 Základní pojmy

Elektrizační soustava je síť všech propojených prvků soustavy, jako jsou elektrárny, transformátory pro transformaci napětí (ty jsou obvykle umístěny v elektrických stanicích) a také samotní odběratelé energie. To vše je propojené vedením nebo kabely na různých napěťových hladinách, podle kterých rozdělujeme, zda se jedná o přenosovou či distribuční soustavu. [1]

Distribuční soustava je síť vedení a zařízení, ze které je obvykle elektrická energie distribuována přímo k zákazníkovi. Zpravidla se jedná o síť 110 kV (výjimkou jsou pouze části vedení 110 kV sloužící jako přenosová soustava). Dále to jsou hladiny napětí 0,4 kV (síť nízkého napětí), 1,5 kV, 3 kV, 6 kV (obvykle lokální distribuční soustavy – využívají se v průmyslu), 10 kV (dnes jen v ojedinělých případech, většina sítí se převádí na vyšší napětí), 22 kV a 35 kV. Distribuční soustava je zřizována ve veřejném zájmu a vlastníkem může být i soukromá firma. Její funkcí je bezpečně a hospodárně zásobovat připojené odběratele v daném čase elektrickou energií o předepsané kvalitě. [1]

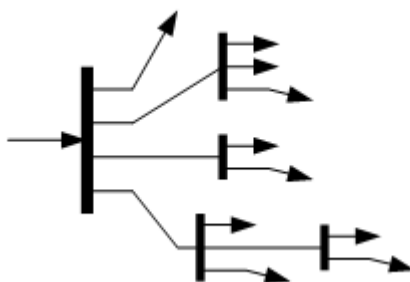
2.2 Typy sítí

Distribuční síť je provozována v různých typech a tvarech propojení. Různé typy jsou používány dle několika hledisek:

- Pořizovací a provozní náklady,
- zálohovatelnost dodávky elektrické energie.

Paprsková síť

Jedná se o nejlevnější, ale také nejjednodušší typ rozvodu distribuční soustavy. Využívá se i v průmyslových závodech, které neobsahují spotřebiče prvního stupně důležitosti. Ty vyžadují vyšší spolehlivostní nároky na provoz a také na dodávku elektrické energie. Bohužel u tohoto typu rozvodu není zálohovatelnost tak vysoká jako u jiných. Pokud dojde k přerušení, respektive poruše na nějakém z paprsků, tak všechny další připojené paprsky směrem k odběrateli budou bez dodávky elektrické energie. Tato síť je považována za méně spolehlivou, a proto se využívá spíše v menších městech a na vesnicích. [2]

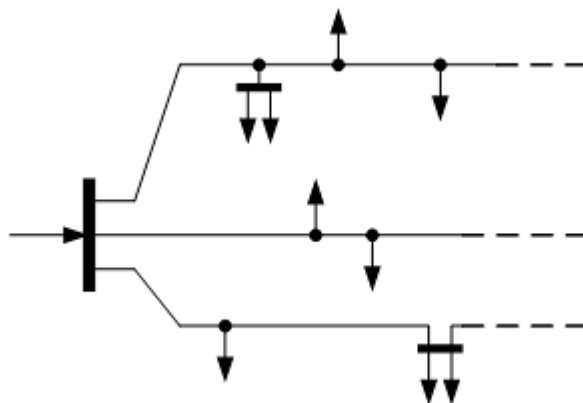


Obrázek 2.1 - paprsková síť [2]

Průběžná síť

Tato síť je podobná paprskové síti. Rozdíl je v tom, že se nevětví na více a více paprsků, ale je zde jedno dlouhé rozvodné vedení (obvykle spíše kabel) a z toho jsou napájeny jednotlivé spotřebiče. Využívá se hlavně u světelných rozvodů veřejného osvětlení nebo rozvodu větších průmyslových hal. Zřídka se využívá k napájení maloodběratelů na vesnicích. [2]

U tohoto typu sítě je také nutné provést kontrolu úbytku napětí, jelikož je rozvod proveden dlouhým kabelem, kde dochází k většímu úbytku napětí. Spolehlivost této sítě je stejná (nízká) jako u paprskového rozvodu. Pokud dojde k poruše na vedení (kabelu), tak všechny spotřebiče za touto poruchou budou bez dodávky elektrické energie. [2]



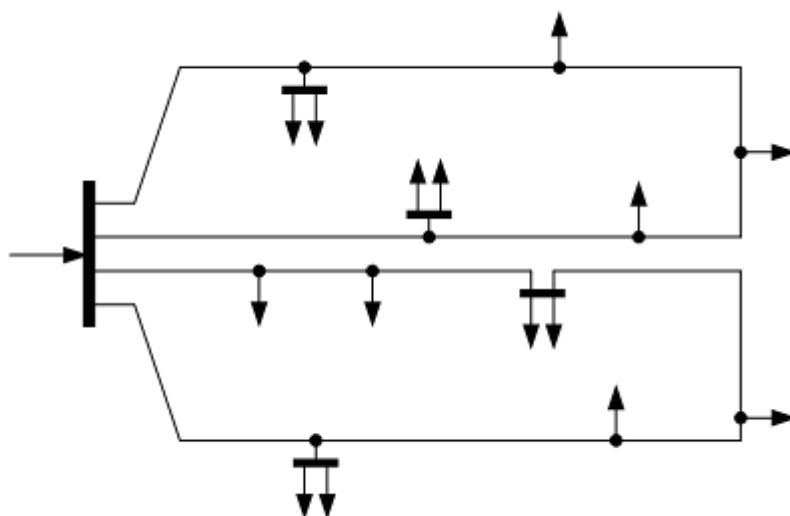
Obrázek 2.2 - průběžná síť [2]

Okružní síť

Tato síť je konstruována jako uzavřený okruh s jednotlivými odbočkami ke konkrétním odběratelům nebo do podružných rozvaděčů.

Tento typ rozvodu má výhodu v tom, že pokud dojde k poruše, tak vzniknou dvě sítě paprskového nebo průběžného rozvodu, a proto nedojde k přerušení dodávky elektrické energie. Spolehlivost okružní

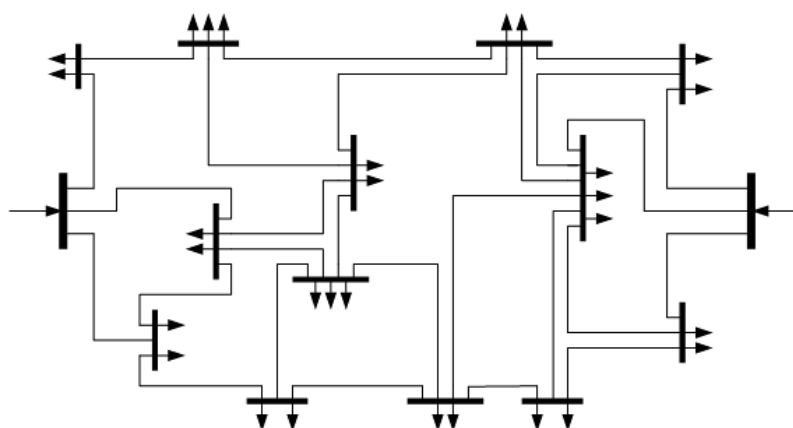
sítě je tudíž vyšší, než u paprskové/průběžné sítě. Právě z důvodu vyšší spolehlivosti se využívá ve větších průmyslových závodech a ve větších zastavěných městských částech. [2]



Obrázek 2.3 - okružní síť [2]

Mřížová síť

Tato síť je tvořena minimálně dvěma napájecími místy (v každém napájecím bodě mřížové sítě je hlavní rozvaděč) a různě propojenými odběrnými místy s podružnými rozvaděči. Rozvaděče jsou napájeny nejméně ze dvou případně více směrů. Tento druh rozvodu obvykle slouží k napájení větších měst s hustou zástavbou s hustotou odběru elektrické energie $\sigma = 1 \text{ MW} \cdot \text{km}^2$. Velká výhoda je provozní spolehlivost, snížené ztráty a malé kolísání napětí. Jednoduše řečeno – zlepší se kvalita elektrické energie. S tímto také souvisí vyšší pořizovací náklady. Mřížová síť má obvykle kabelový rozvod jednotného průřezu, a proto může docházet k neúplnému využití přenosových schopností kabelů a nízkému zatížení. Nevýhodou jsou vyšší zkratové proudy, které při poruše mohou způsobit škody. [2] [3]



Obrázek 2.4 - mřížová síť [2]

3 Požadavky na distributory z hlediska kvality elektrické energie

V České republice jsou v dnešní době desítky obchodníků s elektrickou energií. Každé odběrné místo, respektive odběratel, má právo si svého obchodníka zvolit. Ti se mohou lišit cenami a tarify za kWh. Distributory elektrické energie máme v ČR 3 (ČEZ Distribuce a.s., E.ON Distribuce a PRE). Ti musí dodávat elektrickou energii o dané kvalitě. Předepisuje ji norma *ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*.

3.1 Kvalita elektrické energie dle normy ČSN EN 50160

3.1.1 Všeobecné základní informace

Tato norma pojednává o charakteristikách napětí v daném místě připojení odběratele z veřejné distribuční sítě nízkého či vysokého napětí (za normálních provozních podmínek). Norma předepisuje mezní a charakteristické hodnoty napětí, které může v síti v kterémkoli čase nastat, a odběratel s tím musí počítat. [4]

Norma se neuvažuje, jestliže v síti nastanou mimořádné provozní podmínky:

- Pokud v síti nastane porucha, nebo je zapojení sítě upraveno pro napájení odběratelů při údržbě nebo výstavby nových částí sítě. [4]

- Pokud instalace nebo zařízení daného odběratele nevyhovuje normám nebo nesplňuje technické připojovací podmínky pro odběratele (ty nařizuje dodavatel elektrické energie a jedná se o případ, kdy by daná instalace nebo zařízení mohlo mít nepříznivý účinek na síť). [4]

- Pokud instalace nesplňuje platné předpisy a technické požadavky při paralelním chodu s distribuční sítí (vydává veřejná správa nebo dodavatel). [4]

- Jsou zde také zahrnuty výjimečné případy, které dodavatel není schopen ovlivnit:

- Nepříznivé a mimořádné povětrnostní podmínky a ostatní přírodní katastrofy,
- cizí zavinění,
- úřední nařízení,
- vyšší moc,
- nedostatek výkonu v síti způsobený vnějšími okolnostmi.

Tato norma je závazná pouze v případě, že není uvedeno jinak. Při domluvě mezi dodavatelem a odběratelem může být její část nebo celá norma nahrazena jinými smluvními podmínkami. [4]

Hlavním předmětem této normy je definice a popis charakteristik napájecího napětí, které se týkají:

- 1) Kmitočtu,

- 2) velikosti napětí,
- 3) tvaru vlny,
- 4) symetrie u třífázového napětí.

Během normálního provozu sítě jsou tyto charakteristiky ovlivňovány změnou zatížení, rušením některého z připojených zařízení nebo poruchou, kterou obvykle způsobují vnější vlivy (více v normě o vnějších vlivech). [4]

Není možné předpovědět kdy a kde dojde k poruše nebo nějakému rušení, a proto se charakteristiky napětí mění náhodně v čase a také místě. Proto jsou tyto charakteristiky vymezeny v určitém rozsahu. V ojedinělých případech může být mez překročena. [4]

3.1.2 Definice

- **Odběratel** – zákazník, který kupuje elektrickou energii od dodavatele.
- **Dodavatel** – poskytovatel elektrické energie pomocí veřejné distribuční sítě.
- **Předávací (odběrné) místo** – místo, ve kterém je odběratel připojen na distribuční síť.
- **Napájecí napětí** – efektivní hodnota napětí v odběrném místě v určité době změřena za danou dobu.
- **Jmenovité napětí sítě (U_n)** – hladina napětí, na kterou je síť navržena a k této hodnotě se vztahují charakteristiky napětí.
- **Dohodnuté napájecí napětí (U_c)** – obvyklým dohodnutým napájecím napětím se rozumí jmenovité napětí napájecí sítě. Pokud se toto napětí liší od jmenovitého napětí sítě, nazýváme ho dohodnutým napájecím napětím.
- **Nízké napětí (zkratka nn)** – nízké napětí je hodnota napětí mezi 50 V a 1 kV.
- **Vysoké napětí (zkratka vn)** – vysoké napětí je hodnota napětí mezi 1 kV a 35 kV.
- **Normální provozní podmínky** – stav distribuční soustavy splňující požadavky na zatížení, spínání a odstranění poruch pomocí automatických ochran; při tomto stavu se v soustavě nevyskytují mimořádné stavy způsobené vnějšími vlivy a závažnými událostmi (poruchy).
- **Rušení šířené vedením** – rušení je elektromagnetický jev, který se šíří po vodičích v distribuční soustavě; v určitých případech se může rušení šířit i skrze transformátory a to znamená, že může proniknout do nadřazené soustavy vyššího napětí.
- **Kmitočet napájecího napětí** – kmitočet základní harmonické napájecího napětí (obvykle v síti 50 Hz); je měřený v určitém časovém intervalu.
- **Změna napětí** – pokles/nárůst napětí v čase způsobený změnou zatížení distribuční sítě.
- **Rychlá změna napětí** – dílčí rychlá změna efektivní hodnoty napětí mezi dvěma nebo více po sobě jdoucími úrovněmi napětí, které trvají danou, ale nestanovenou dobu.
- **Kolísání napětí** – série změn napětí v čase.
- **Flikr** – nestálost světelného toku (v čase se měnící jas) způsobená změnami napětí, které je lidské oko schopno zaznamenat (nad určitou hodnotu frekvence se tento jev stává velmi nepříjemný).
- **Krátkodobý pokles napájecího napětí** – náhlý pokles dohodnutého napájecího napětí sítě o více než 10 % avšak nejméně na hodnotu 1 % U_c , kde po krátkém čase dojde opět k obnovení

na dohodnuté napájecí napětí; tento krátký čas na obnovu napětí je mezi 10 ms a 1 minutou (delší dobu by se nejednalo o krátkodobý pokles napájecího napětí).

- **Přerušení napájecího napětí** – je stav, kdy dohodnuté napájecí napětí klesne pod 1 %; přerušení napájecího napětí mohou být různého typu a jsou dělena na:
 - **Předem dohodnutá** – předem plánovaná a dohodnutá přerušení, o kterých jsou odběratelé informováni; obvykle to je způsobeno odstávkou sítě z důvodu revize nebo oprav.
 - **Poruchová** – neplánované a náhodné přerušení způsobené poruchami, obvykle spojené s vnějšími vlivy; poruchová přerušení se dělí na:
 - **Dlouhodobá přerušení** – způsobená trvalými poruchami (delší než 3 minuty),
 - **Krátkodobá přerušení** – způsobená přechodnými poruchami (kratší než 3 minuty).
- **Dočasné přepětí o síťovém kmitočtu** – přepětí v určitém místě s dlouhou dobou trvání.
- **Přechodné přepětí** – krátkodobé přepětí (oscilační i neoscilační). Obvykle je silně tlumené a odezní během několika milisekund.
- **Harmonické napětí** – napětí se sinusovým průběhem, které je celočíselným násobkem základního kmitočtu napětí sítě; harmonické napětí vzniká kvůli nelineárním spotřebičům připojených k síti na různých napětíových hladinách.
- **Meziharmonické napětí** – napětí sinusového průběhu, které je násobkem základního kmitočtu (vyjma celočíselného násobku).
- **Nesymetrie napětí** – nastává v trojfázové síti. Efektivní hodnoty napětí se při něm nerovnají a jednotlivé fáze mají mezi sebou odlišný úhel posunutí.
- **Napětí signálů v síti** – jedná se o signál, který je superponovaný na základní průběh sinusového napětí; využívá se na přenos informací pomocí elektrické soustavy (např. pro HDO – hromadné dálkové ovládání).

3.1.3 Nízkonapětíové napájecí charakteristiky

Kmitočet sítě

Jmenovitá frekvence v síti je předepsána na 50 Hz. Střední hodnota frekvence základní harmonické se měří v intervalu dlouhém 10 s, a musí splňovat tyto podmínky:

- Systém, který je připojen synchronně k propojenému systému sítě [4]

50 Hz \pm 1 % (tj. 49,5 Hz až 50,5 Hz) během 99,5 % roku,

50 Hz + 4 % / – 6 % (tj. 47 Hz až 52 Hz) během 100 % času.

- Systém, který není připojen synchronně k propojenému systému sítě (ostrovní režim) [4]

50 Hz \pm 2 % (tj. 49 Hz až 51 Hz) během 5 % týdne,

50 Hz \pm 15 % (tj. 42,5 Hz až 57,5 Hz) během 100 % času.

Velikost napájecího napětí

Jmenovité napětí pro veřejnou napájecí síť nízkého napětí je stanoveno normou:

- pro čtyřvodičovou trojfázovou soustavu [4]

$$U_n = 230 \text{ V, mezi fázovým a středním vodičem,}$$

- pro třívodičovou trojfázovou soustavu [4]

$$U_n = 230 \text{ V, mezi fázovými vodiči.}$$

Odchyšky napájecího napětí

Uvažováno za normálních provozních podmínek vyjma přerušení napájení [4]

- V měřených intervalech o délce 10 minut musí být efektivní hodnota $U_n \pm 10 \%$ v 95 % času po dobu jednoho týdne (7 po sobě jdoucích dní).
- Všechny změřené efektivní hodnoty napájecího napětí v intervalu 10 minut musí být v rozsahu $U_n + 10 \%$ / $- 15 \%$.

Rychlé změny napětí

Velikost rychlých změn napětí

- Rychlé změny napětí jsou obvykle způsobovány změnami zatížení sítě (spínání zátěží); při normálním provozu sítě tyto změny nepřekračují 5 % U_n , ale při určitých podmínkách se mohou párkrát za den vyskytnout změny až do 10 % U_n (změna vyšší se už považuje za pokles napětí). [4]

Míra vjemu flikru

- Při normálním provozu sítě nesmí dlouhodobá míra vjemu flikru překročit hodnotu 1 ($P_{lt} \leq 1$) po 95 % času v intervalu jednoho týdne. [4]

Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Krátkodobé poklesy napájecího napětí jsou obvykle způsobeny různými poruchami, ať už v instalaci odběratelů, nebo v distribuční síti. Nelze je predikovat, jelikož se jedná o náhodné jevy. Proto nemůžeme předpovědět jejich četnost za rok. Tyto údaje jsou odlišné jak v čase, tak i v různých místech. [4]

Poklesy mohou být od několika desítek až do jednoho tisíce za rok. Obvykle nepřesahují dobu trvání 1 sekundy a pokles napětí je menší než 60 %. V ojedinělých případech lze zaznamenat i poklesy delší než 1 sekundu a s větší hloubkou poklesu než 60 %. Existují oblasti s opakovanými poklesy napětí o 10 % až 15 % U_n , a to z důvodu spínání velkých zátěží. [4]

Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Při běžném provozu za normálních podmínek je obvyklý výskyt krátkodobých přerušení od několika desítek do několika stovek. Okolo 70 % krátkodobých přerušení je kratších než 1 sekunda. [4]

Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Dlouhodobá přerušení jsou považována za poruchová. Ty jsou obvykle způsobeny vnějšími vlivy a událostmi, kterým provozovatel nemůže předcházet ani je dlouhodobě předpovědět. Proto nelze určit četnost dlouhodobých přerušení a jejich délku trvání. Velké rozdíly jsou podle oblastí, kde se síť nachází (pro oblasti s vysokým výskytem větru a bouřek bude logicky četnost výpadků větší). Proto mohou tyto rozdíly být i takové, že v určité oblasti může dojít k 10 výpadků za rok (delší než 3 minuty) a pro jiné rizikovější oblasti to může být naopak 50 výpadků za rok. [4]

Předem dohodnutá a ohlášená přerušení se neuvažují do těchto směrných hodnot, protože jsou předem ohlašována (obvykle se jedná o různé opravy a údržby). [4]

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Tato přepětí jsou dočasná a objevují se ve veřejné distribuční síti nebo v instalaci odběratele. Jsou způsobeny poruchou a mizí při eliminaci této poruchy. Poruchy mohou způsobit přepětí rovnající se sdruženému napětí dané síti, a to z důvodu posunutí uzlového bodu. [4]

V ojedinělých případech může zkrat na vn straně transformátoru způsobit přepětí na nn straně až 1,5 kV, ale pouze na velmi krátkou dobu (toto přepětí má stejnou dobu trvání jako zkrat na vn straně). [4]

Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Přechodná přepětí obvykle nepřesahují hodnotu 6 kV. Vyskytují se však ojedinělé případy, kdy přepětí tuto hodnotu překročí. Doby přepětí jsou různé – od milisekund až po mikrosekundy. [4]

Nesymetrie napájecího napětí

Při normálních provozních podmínkách nesmí efektivní hodnota zpětné složky překročit 2 % sousledné složky po 95 % času jednoho týdne (je měřena v desetiminutových intervalech). V určitých místech, kde jsou připojeny instalace odběratelů jednofázově nebo dvoufázově, může vznikat nesymetrie až do 3 %. [4]

Harmonická napětí

Při normálních provozních podmínkách nesmí 95 % efektivních středních hodnot napětí (měřených v týdenním intervalu) z každé harmonické překročit uvedenou procentuální hodnotu v tabulce pro danou harmonickou. [4]

Zároveň s harmonickými se měří i tzv. zkreslení napájecího napětí THD, které zahrnuje každou harmonickou až do řádu 40. Toto zkreslení nesmí překročit 8 %. [4]

Tabulka 3.1 - úrovně jednotlivých harmonických v místě předávání v procentech U_n pro řády harmonických až do 25 [4]

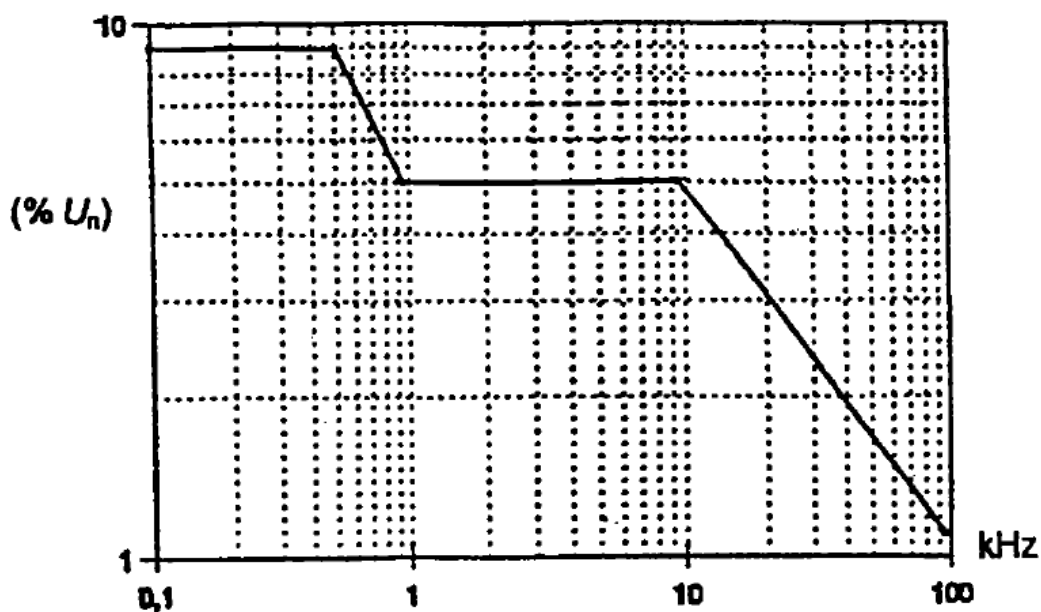
liché harmonické				sudé harmonické	
ne násobky 3		násobky 3			
řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Meziharmonická napětí

S příchodem a rozvojem frekvenčních měničů úrovně meziharmonických napětí stoupá. Jelikož je to trend poslední doby, jsou meziharmonická napětí stále zkoumána a vyhodnocuje se, jakou mírou jsou vlastně nežádoucí. Zatím se ví, že v určitých případech mohou i meziharmonické nízkých úrovní způsobovat flickr nebo rušit HDO. [4]

Úrovně napětí signálu v napájecím napětí

V různých zemích se veřejná distribuční síť využívá k přenosu informací pomocí signálu. Tato hodnota signálu (měřena po dobu 3 sekund) musí být v 99 % jednoho dne menší nebo rovna hodnotám dle obrázku (grafu) níže. [4]



Obrázek 3.1 - úrovně napětí na frekvenci signálů v procentech U_n ve veřejných distribučních sítích nn [4]

3.1.4 Vysokonapěťové napájecí charakteristiky

Diplomová práce se zabývá sítěmi nízkého napětí, a proto uvedu vysokonapěťové charakteristiky pouze zkráceně (liší se pouze lehce od charakteristik nízkého napětí).

Toto napětí je využíváno pro distribuci elektrické energie odběratelům, kterým nestačí přenosová schopnost sítě nízkého napětí. Vysoké napětí je označováno jako napětí mezi 1 kV a 35 kV. [4]

Kmitočet sítě

Jelikož je frekvence celosystémový parametr, musí být stejná jak v síti nn, tak i v síti vn.

- Systém, který je připojen synchronně k propojenému systému sítě [4]

50 Hz \pm 1 % (tj. 49,5 Hz až 50,5 Hz) během 99,5 % roku,

50 Hz + 4 % / - 6 % (tj. 47 Hz až 52 Hz) během 100 % času.

- Systém, který není připojen synchronně k propojenému systému sítě (ostrovní režim) [4]

50 Hz \pm 2 % (tj. 49 Hz až 51 Hz) během 5 % týdne,

50 Hz \pm 15 % (tj. 42,5 Hz až 57,5 Hz) během 100 % času.

Velikost napájecího napětí

Velikost napájecího napětí je určena dohodnutým napájecím napětím U_c mezi dodavatelem a odběratelem. [4]

Odchyšky napájecího napětí

Při normálních provozních podmínkách (neuvažuje se přerušení napájení)

- V měřených intervalech o délce 10 minut musí být efektivní hodnota $U_c \pm 10 \%$ v 95 % času po dobu jednoho týdne. [4]

Rychlé změny napětí

Velikost rychlých změn napětí

- Rychlé změny napětí jsou obvykle způsobovány změnami zatížení sítě (spínání zátěží); při normálním provozu sítě tyto změny nepřekračují 4 % U_c , ale při určitých podmínkách se mohou párkrát za den vyskytnout změny až do 6 % U_c . [4]

Míra vjemu flikru

- Při normálním provozu sítě nesmí dlouhodobá míra vjemu flikru překročit hodnotu 1 ($P_{lt} \leq 1$) po 95 % času v intervalu jednoho týdne. [4]

Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Krátkodobé poklesy napájecího napětí jsou obvykle způsobeny různými poruchami, ať už v instalaci odběratelů, nebo v distribuční síti. Nelze je predikovat, jelikož se jedná o náhodné jevy. Proto nemůžeme předpovědět jejich četnost za rok. Tyto údaje jsou odlišné jak v čase, tak i v různých místech. [4]

Takové poklesy mohou být od několika desítek až do jednoho tisíce za rok. Obvykle tyto poklesy nepřesahují dobu trvání 1 sekundy a pokles napětí je menší než 60 %. V ojedinělých případech lze zaznamenat i poklesy delší než 1 sekunda a s větší hloubkou poklesu než 60 %. Existují oblasti s opakovanými poklesy napětí o 10 % až 15 % U_c a to z důvodu spínání velkých zátěží. [4]

Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Při normálním provozu za normálních podmínek je obvyklý výskyt krátkodobých přerušení od několika desítek do několika stovek. Okolo 70 % krátkodobých přerušení je kratších než 1 sekunda. [4]

Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Dlouhodobá přerušení jsou považována za poruchová. Ty jsou obvykle způsobeny vnějšími vlivy a událostmi, kterým provozovatel nemůže předcházet ani je dlouhodobě předpovědět. Proto nelze určit četnost dlouhodobých přerušení a jejich délku trvání. Velké rozdíly jsou podle oblastí, kde se síť nachází (pro oblasti s vysokým výskytem větru a bouřek bude logicky četnost výpadků větší). Proto mohou tyto rozdíly být i takové, že pro určitou oblast to může být 10 výpadků za rok (delší než 3 minuty) a pro jiné rizikovější oblasti to může být naopak 50 výpadků za rok. [4]

Předem dohodnutá a ohlášená přerušení se nauvažují do těchto směrných hodnot, protože jsou předem ohlašována (obvykle se jedná o různé opravy a údržby) [4]

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Tato dočasná přepětí o síťovém kmitočtu se obvykle objevují během zemních spojení ve veřejné distribuční síti nebo v instalaci odběratele. Jakmile je porucha odstraněna, tak zmizí i toto přepětí. Velikost těchto přepětí závisí na způsobu uzemnění sítě. V síti s účinně uzemněným uzlem, nebo s uzemněným uzlem přes impedanci, přepětí obvykle nebývá větší než $1,7 U_C$. V soustavě s izolovaným uzlem obvykle přepětí nepřekračuje $2 U_C$. [4]

Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Přechodná přepětí v síti vn obvykle způsobuje spínání zátěží nebo atmosférické jevy (blesky). Spínací přepětí má nižší maximální napětí než atmosférická přepětí (blesky), ale naopak mohou mít delší dobu trvání. [4]

Nesymetrie napájecího napětí

Při normálních provozních podmínkách nesmí efektivní hodnota zpětné složky překročit 2 % sousledné složky po 95 % času jednoho týdne (je měřena v desetiminutových intervalech). V určitých místech, kde jsou připojeny instalace odběratelů jednofázově nebo dvoufázově může vznikat nesymetrie až do 3 %. [4]

Harmonická napětí

Při normálních provozních podmínkách nesmí 95 % efektivních středních hodnot napětí (měřených v týdenním intervalu) z každé harmonické, překročit uvedenou procentuální hodnotu v tabulce pro danou harmonickou. [4]

Zároveň s harmonickými se měří i tzv. zkreslení napájecího napětí THD, které zahrnuje každou harmonickou až do řádu 40. Toto zkreslení nesmí překročit 8 %. [4]

Tabulka 3.2 - úrovně jednotlivých harmonických v místě předávání v procentech U_n pro řády harmonických až do 25 [4]

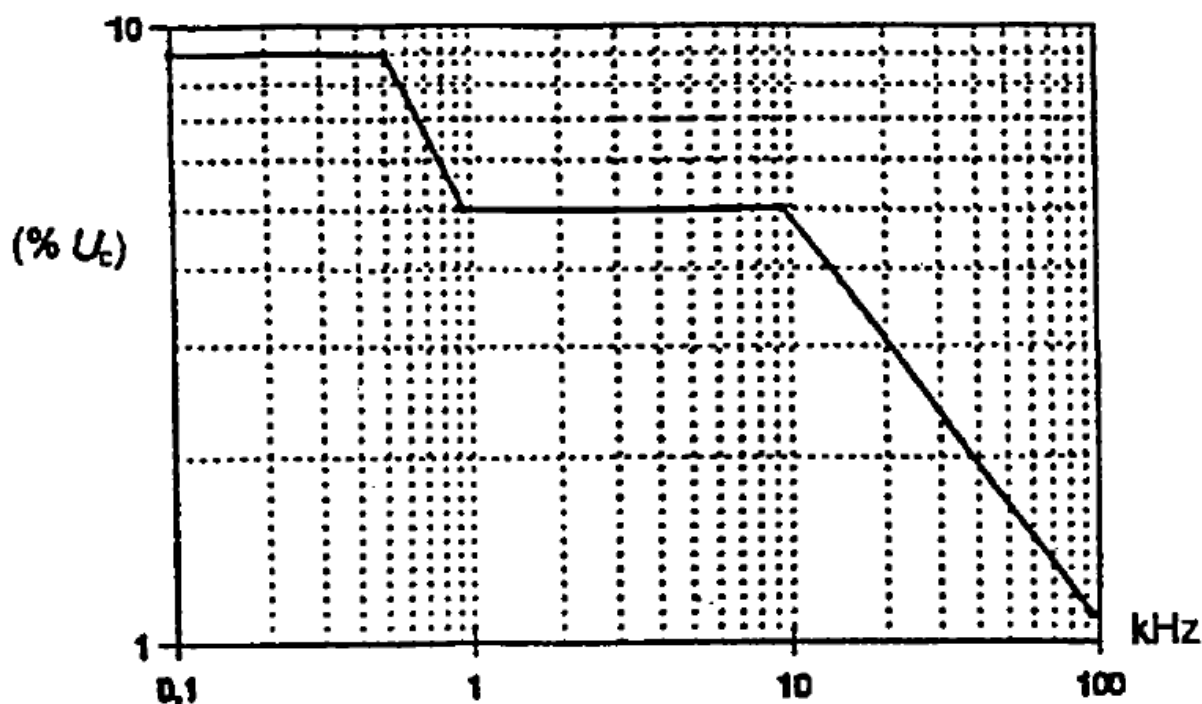
liché harmonické				sudé harmonické	
ne násobky 3		násobky 3			
řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Meziharmonická napětí

S příchodem a rozvojem frekvenčních měničů úrovně meziharmonických napětí stoupá. Jelikož je to trend poslední doby, tak jsou meziharmonické napětí stále zkoumány a vyhodnocovány jakou mírou jsou vlastně nežádoucí. Zatím se ví, že v určitých případech můžou i meziharmonické nízkých úrovní způsobovat flickr nebo rušit HDO. [4]

Úrovně napětí signálu v napájecím napětí

V různých zemích se veřejná distribuční síť využívá k přenosu informací pomocí signálu. Tato hodnota signálu (měřena po dobu 3 sekund) musí být v 99 % jednoho dne menší nebo rovna hodnotám dle obrázku (grafu) níže. [4]



Obrázek 3.2 - úrovně napětí na frekvenci signálů v procentech U_t ve veřejných distribučních sítích vn [4]

3.2 Kvalita dodávky elektrické energie dle vyhlášky č. 41/2010 Sb.

Tato vyhláška mění již vydanou vyhlášku č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. [5]

3.2.1 Standard ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny

- 1) Standard ukončení přerušení distribuce elektrické energie v místě připojení odběratele (odběrné místo nebo předávací místo provozovatele) je ve lhůtě do: [5]
 - Distribuční soustava s napětím do 1 kV – 18 hodin (12 hodin na území hlavního města Prahy),
 - distribuční soustava s napětím nad 1 kV – 12 hodin (8 hodin na území hlavního města Prahy).

Pozn. nevztahuje se na plánované přerušení dodávky elektrické energie.

- 2) Lhůta je započata v okamžiku, kdy se provozovatel distribuční soustavy dozví o vzniku přerušení. [5]
- 3) V případě vzniku více dlouhodobých přerušení zaviněných téže událostí, je standard ukončení přerušení distribuce elektřiny dodržen (pokud je doba mezi začátkem prvního přerušení a koncem posledního přerušení kratší než dle odstavce 1; přerušení v této době však nesmí být

způsobeno nutnými manipulacemi pro obnovu dodávky elektrické energie v dané distribuční síti). [5]

- 4) Standard ukončení přerušení přenosu z výrobní elektrické energie, která je připojena buď do přenosové nebo distribuční soustavy, je 48 hodin a je obnovena schopnost přenášet vyrobenou elektřinu z výrobní do distribuční/přenosové soustavy. [5]
- 5) Při nedodržení výše uvedených standardů je provozovatel distribuční soustavy povinen uhradit zákazníkovi 10 % z jeho roční platby za distribuci, maximálně však: [5]
 - a. 6 000 Kč v sítích do 1 kV,
 - b. 12 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV,
 - c. 120 000 Kč v sítích nad 52 kV.

3.2.2 Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny

- 1) Standard plánovaného dodržení omezení nebo přerušení dodávky elektrické energie je dodržen v případě, že provozovatel distribuční soustavy předem ohlásil toto přerušení či omezení a také vymezil, jakou dobu potrvá. Za nedodržení je bráno, pokud k přerušení nebo omezení došlo před daným datem a časem omezení či přerušení, nebo ukončí přerušení později, než je ukončení přerušení plánováno. [5]
- 2) Při nedodržení výše uvedených standardů je povinen provozovatel distribuční soustavy uhradit zákazníkovi 10 % z jeho roční platby za distribuci, maximálně však: [5]
 - a. 6 000 Kč v sítích do 1 kV,
 - b. 12 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV,
 - c. 120 000 Kč v sítích nad 52 kV.

3.2.3 Standard kvality napětí

Standard kvality napětí je distribuce elektrické energie, která má dané parametry jako jsou odchylka napájecího napětí nebo frekvence. Tyto parametry jsou určeny smlouvou mezi provozovatelem distribuční soustavy a zákazníkem. Pokud smlouvou není určeno jinak, tak je standard kvality napětí v souladu s Pravidly provozování distribučních soustav (případně Provozování přenosových soustav). [5]

Pozn. Obecně Pravidla provozování distribučních soustav vychází z normy ČSN EN 50160, která je popsána v předchozí kapitole.

3.2.4 Standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality napětí

- 1) Při doručení reklamace zákazníka provozovateli distribuční soustavy proběhne prověření oprávněnosti reklamace na kvalitu napětí a také vyrozumění o tomto prověření zákazníkově. Toto prověření proběhne do 60 kalendářních dnů od doručení reklamace provozovateli distribuční soustavy. [5]
- 2) Pokud je reklamace zákazníka po prověření uznána provozovatelem distribuční soustavy jako oprávněná, musí provozovatel distribuční soustavy vyrozumět zákazníka o termínu a způsobu

odstranění snížené kvality napětí. Pokud tak není učiněno, není standard pro vyřízení reklamace kvality napětí dodržen. [5]

- 3) Při nedodržení standardu vyřízení reklamace kvality napětí je provozovatel distribuční soustavy povinen uhradit zákazníkovi 1 200 Kč za každý den prodlení do maximální výše 30 000 Kč. [5]

3.2.5 Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí

- 1) Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí znamená provedení nezbytných opatření provozovatele distribuční soustavy k odstranění příčin způsobujících sníženou kvalitu napětí, a to ve lhůtě: [5]
 - a. 30 kalendářních dnů ode dne odeslání písemného informování o vyřízení reklamace kvality napětí zákazníkovi s termínem a určením způsobu odstranění příčiny snížené kvality, pokud tuto příčinu lze odstranit jednoduchým provozním opatřením (např. manipulace v síti distribuční soustavy). [5]
 - b. 6 měsíců ode dne odeslání písemného informování o vyřízení reklamace kvality napětí zákazníkovi s termínem a určením způsobu odstranění příčiny snížené kvality, pokud tuto příčinu lze odstranit stavebně-technickým opatřením (bez nutnosti stavebního povolení). [5]
 - c. 24 měsíců ode dne odeslání písemného informování o vyřízení reklamace kvality napětí zákazníkovi s termínem a určením způsobu odstranění příčiny snížené kvality, pokud tuto příčinu lze odstranit stavebně-technickým opatřením (s nutností stavebního povolení); za nedodržení standardu se nepovažuje, pokud nedojde k vystavení stavebního povolení. [5]
- 2) Při nedodržení standardu lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí je provozovatel distribuční soustavy povinen uhradit zákazníkovi 1 200 Kč za každý den prodlení do maximální výše 60 000 Kč. [5]

3.2.6 Ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny

- 1) Provozovatel distribuční i přenosové soustavy si vede záznamy o každém dlouhodobém přerušení dodávek nebo přenosu elektrické energie v jeho dané provozované soustavě. [5]
- 2) Mezi ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie patří: [5]
 - a. Průměrný počet přerušení distribuce elektrické energie zákazníkům v daném hodnoceném období,
 - b. průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektrické energie zákazníkům v daném hodnoceném období,
 - c. průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektrické energie zákazníkům v daném hodnoceném období.
- 3) Mezi ukazatele nepřetržitosti přenosu elektrické energie patří: [5]
 - a. Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektrické energie v jednom kalendářním roce,
 - b. nedodané množství elektrické energie v jednom kalendářním roce.

- 4) Každý provozovatel vypočítává ukazatele nepřetržitosti pro svoje soustavy dle výše uvedených kritérií. To znamená, že provozovatel distribuční soustavy vypočítává ukazatele nepřetržitosti dle odstavce 2) a provozovatel přenosové soustavy vypočítává ukazatele nepřetržitosti dle odstavce 3). [5]
- 5) Provozovatel přenosové soustavy počítá ukazatele nepřetržitosti přenosu elektrické energie ze všech přerušení přenosu v daném kalendářním roce na všech napěťových hladinách. Provozovatel distribuční soustavy počítá ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie v daném kalendářním roce jednotlivě pro každou kategorii přerušení distribuce elektrické energie a také jednotlivě pro napěťové hladiny a pro celou distribuční soustavu. [5]

3.2.7 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektrické energie

Důsledky přerušení distribuce elektrické energie se hodnotí podle počtu zákazníků (odběratelů) postižených danou poruchou a jejím trváním. [6]

Pozn. Pojem „zákazník“, který je uváděn ve vyhlášce 41/2010 Sb. i v ukazatelích nepřetržitosti dodávky elektrické energie, je uvažován jako odběrné místo. [6]

Jedna událost může způsobit několik výpadků (přerušení distribuce), a tak postihnout více zákazníků. Ve výpočtu ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektrické energie je proto nutné započítat všechny přerušení, a určit jejich důsledky na zákazníky. [6]

Hladinové ukazatele

Hladinové ukazatele nepřetržitosti dodávky elektřiny $SAIFI_h$, $SAIDI_h$ a $CAIDI_h$ určují celkové důsledky poruch v DS na zákazníky, kteří jsou připojeni k jednotlivým napěťovým hladinám (nn, vn, vvn). To znamená, že zobrazují důsledky na vlastní napěťové hladině (kde vznikla porucha) a také na vyšších hladinách. [6]

$$\text{Četnost přerušení zákazníka hladiny napětí} \quad SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad \text{přerušení/rok/zákazník} \quad (3.1)$$

$$\text{trvání přerušení zákazníka hladiny napětí} \quad SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sjh}}{N_{sh}} \quad \text{minut/rok/zákazník} \quad (3.2)$$

$$\text{průměrné přerušení zákazníka hladiny napětí} \quad CAIDI_h = \frac{SAIFI_h}{SAIDI_h} \quad \text{minut/přerušení,} \quad (3.3)$$

kde

n_{jh} je celkový počet zákazníků napájených z napěťové hladiny h , kteří jsou postiženi přerušením dodávky elektrické energie událostí j , která vznikla na napěťové hladině h nebo vyšší,

N_{sh} je celkový počet zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z napěťové hladiny h ,

t_{sj} je součet všech dob trvání přerušení dodávky elektrické energie způsobené j -tou událostí u jednotlivých zákazníků přímo připojených do napěťové hladiny h a byla jim přerušena dodávka elektrické energie, stanovený jako:

$$t_{sjh} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad (3.4)$$

kde

i je pořadové číslo manipulačního kroku j -té události,

t_{ji} je doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události,

n_{jh} je počet zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z napěťové hladiny h , kterým bylo způsobeno přerušení dodávky elektrické energie v příslušné kategorii v i -tém manipulačním kroku j -té události.

Pro lepší názornost je zde uvedena tabulka pro výpočetní postup:

Tabulka 3.3 - přehledná tabulka údajů pro výpočetní postup [6]

	Hladinový ukazatel		
	Zákazník nn	Zákazník vn	Zákazník vvn
Událost na hladině nn	$n_{jnn}; t_{jnn}$		
Událost na hladině vn	$n_{jnn}; t_{jvn}$	$n_{jvn}; t_{jvn}$	
Událost na hladině vvn	$n_{jnn}; t_{jvvn}$	$n_{jvn}; t_{jvvn}$	$n_{jvvn}; t_{jvvn}$
Celkový vztažený počet zákazníků	N_{snn}	N_{svn}	N_{svvn}

kde

N_{snn} je celkový počet zákazníků připojených na hladině nn,

N_{svn} je celkový počet zákazníků připojených na hladině vn,

N_{svvn} je celkový počet zákazníků připojených na hladině vvn.

Určení obecných systémových ukazatelů nepřetržitosti distribuce DS [6]

Systémovým ukazatelem $SAIFI_s$, $SAIDI_s$ a $CAIDI_s$ je určena průměrná hodnota dopadů událostí na nepřetržitost dodávky elektrické energie za všechny zákazníky v celé DS. [6]

$$\text{četnost přerušení} \quad SAIFI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad \text{přerušení/rok/zákazník} \quad (3.5)$$

$$\text{souhrnné trvání přerušení} \quad SAIDI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j t_{sjh}}{N_s} \quad \text{minut/rok/zákazník} \quad (3.6)$$

$$\text{průměrné přerušení} \quad CAIDI_s = \frac{SAIFI_s}{SAIDI_s} \quad \text{minut/přerušení} \quad (3.7)$$

kde

N_s je celkový počet zákazníků (odběratelů) v soustavě na všech napěťových hladinách ke konci předchozího roku.

Pro lepší názornost je zde uvedena tabulka pro výpočetní postup:

Tabulka 3.4 - přehledná tabulka údajů pro výpočetní postup [6]

	Hladinový ukazatel		
	Zákazník nn	Zákazník vn	Zákazník vvn
Událost na hladině nn	$n_{jnn}; t_{jnn}$		
Událost na hladině vn	$n_{jnn}; t_{jvn}$	$n_{jvn}; t_{jvn}$	
Událost na hladině vvn	$n_{jnn}; t_{jvvn}$	$n_{jvn}; t_{jvvn}$	$n_{jvvn}; t_{jvvn}$
Celkový vztažný počet zákazníků	$N_{snn} + N_{svn} + N_{svvn}$		

4 Opatření pro zajištění bezpečnosti práce v síti NN

Při práci se zařízením, u kterého může dojít k úrazu elektrickým proudem, je třeba zajistit bezpečnost. Požadavky, jak správně postupovat při práci nebo obsluze elektrických zařízení případně jejich opravách, jsou určena podnikovou normou *PNE 33 0000-1 ed. 6. Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. Tato podniková norma vychází z mezinárodní normy *ČSN EN 61 140 ed. 3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem – Společná hlediska pro instalaci a zařízení*. Podnikovou normou se řídí české firmy na přenos a distribuci elektrické energie (ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce, E.ON ČR, PRE Distribuce a ČEPS).

4.1 Základní požadavky na bezpečnost

Každé rozvodné zařízení musí být vybaveno ochranou proti úrazu elektrickým proudem a také musí počítat s nepříznivým působením vnějších vlivů ustanovené touto normou. Jestliže je zařízení vybaveno jiným typem ochrany před úrazem elektrickým proudem, musí mít jeho technické provedení minimálně stejnou úroveň ochrany, nebo lepší. [7]

Technické provedení ochrany zařízení proti úrazu elektrickým proudem musí splňovat alespoň jednu z těchto podmínek: [7]

- Trvale znemožnit přístup k živým i neživým částem zařízení při provozu, je-li napětí vyšší než hodnota bezpečného napětí,
- při dotyku neživé části omezit protékající proud tělem na úroveň nižší, než je úroveň nebezpečná,
- zamezit tomu, aby při dotyku neživé části tělem neprotékal takovou dobu proud, který by způsobil patofyziologické změny u zasažené osoby.

4.2 Prostory z hlediska úrazu elektrickým proudem

Způsob provedené ochrany před úrazem elektrickým proudem a její rozsah nám udává prostor, ve kterém se elektrické zařízení nachází. Nutné je také započítat vnější vlivy, které na toto zařízení mohou působit, a ochranu tomu přizpůsobit. [7]

4.2.1 Základní členění prostor

Prostory normální jsou prostory, které nijak nezvyšují riziko úrazu elektrickým proudem (respektive vnější vlivy v tomto prostoru nezvyšují riziko úrazu elektrickým proudem). Zařízení umístěná v tomto prostoru nepotřebují navíc žádné další ochrany, než jsou nezbytné pro jejich normální provoz. [7]

Prostory nebezpečné jsou prostory, kde vnější vlivy způsobují přechodné nebo stálé nebezpečí úrazu elektrickým proudem. [7]

Prostory zvlášť nebezpečné jsou prostory, kde působením vnějších vlivů dochází ke zvýšení rizika úrazu elektrickým proudem. [7]

4.2.2 Rozdělení napětí z hlediska úrazu elektrickým proudem

Hlavním měřítkem úrovně ochrany proti úrazu elektrickým proudem je hodnota napětí provozovaných elektrických zařízení. [7]

Podle toho také dělíme napětí na: [7]

- Napětí bezpečná (taková hodnota napětí, která v daném prostoru neohrožuje osoby, hospodářská zvířata a volně žijící zvěř),
- napětí nebezpečná.

Meze bezpečných napětí podle daných prostor

Tabulka 4.1 - meze bezpečných napětí [7]

Prostory	Při dotyku částí	Bezpečná napětí (V)
Normální	Živých	25
	Neživých	50
Nebezpečné	Živých	25
	Neživých	50
Zvlášť nebezpečné	Živých	-
	Neživých	12

Hodnoty uvedené jako bezpečné napětí v daných prostorech jsou zároveň mezní hodnoty dovoleného dotykového napětí elektrických zařízení do 1000 V. [7]

Určení prostoru, kde je provozováno elektrické rozvodné zařízení pro provedení potřebných ochrany proti úrazu elektrickým proudem, je zajištěno normou o vnějších vlivech PNE 33 0000-2. [7]

Rozvodná elektrická zařízení, která jsou přístupná pouze pracovníkům s odbornou elektrotechnickou způsobilostí (podle vyhlášky č. 50/1978 Sb.), mají určené další prostředky pro ochranu a bezpečnost dané provozními předpisy. [7]

Rozvodná elektrická zařízení, která jsou přístupná laikům, musí obsahovat ochrany zamezující dotyku živých částí a ochranu neživých částí, na kterých by se mohlo při poruše objevit nebezpečné napětí. [7]

4.3 Úraz elektrickým proudem

Provozní podmínky určují míru rizika vzniku úrazu elektrickým proudem (velikosti napětí, proudu, kmitočtu atd.). Dalším parametrem velikosti rizika je působení vnějších vlivů v prostorech provozování elektrického zařízení. [7]

Lidé a hospodářská i volně žijící zvířata musí být chráněni proti dotyku nebo přiblížení: [7]

- K živým částem, na kterých je napětí proti zemi,
- k živým částem rozdílné polarity nebo potenciálu,

- k neživým částem, na kterých se může při poruše objevit napětí proti zemi.

Při dotyku živé části pod napětím může tělem protékat proud, který způsobuje patofyziologické změny, a ohrozit tak zdraví dané osoby. [7]

4.4 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Tato norma PNE 33 0000-1 ed. 6 je v souladu s normou ČSN 33 2000-4-41 ed. 2: [7]

- Ochranu za normálních provozních podmínek – označované jako základní ochrana; ochrana před přímým dotykem živých částí,
- ochranu při poruše a dotyku neživých částí (nepřímý dotyk).

Ochrana před úrazem elektrickým proudem se skládá z: [7]

- Vhodné kombinace ochrany proti dotyku živých částí (základní ochrana) a také nezávislého opatření proti nepřímému dotyku (dotyku neživých částí při poruše),
- zvýšené ochrany – zajišťuje ochranu základní i ochranu při poruše.

Doplňková ochrana je součástí ochranného opatření proti úrazu elektrickým proudem daného zařízení a je specifikována podle působení vnějších vlivů dle normy ČSN 33 2000. (Příklad zvýšené ochrany může být zesílená izolace.) [7]

Použití ochranných opatření pomocí zábran nebo polohou (umístění zařízení mimo dosah a zabránění tak úrazu) lze použít pouze v instalacích, které jsou přístupné: [7]

- Osobám znalým nebo poučeným,
- osobám pracujícím pod dohledem nebo dozorem osob znalých nebo poučených.

Tyto ochrany se mohou použít i pro zařízení přenosové nebo distribuční soustavy na veřejně přístupných místech, kde se pohybují laici a osoby seznámené. [7]

4.5 Vymezení pojmu živých a neživých částí rozvodných elektrických zařízení

4.5.1 Živé části

Jako živá část je považován fázový vodič včetně vodiče nulového, nebo vodivá část, která je za běžného provozu určena k tomu, aby byla pod napětím. Tyto části je nutné chránit proti přímému dotyku. [7]

4.5.2 Neživé části

Jako neživá část elektrického zařízení, kterou je nutné chránit před nepřímým dotykem, je považována vodivá část zařízení. Těchto částí se lze běžně dotknout při normálním provozu elektrického zařízení

nejdou pod napětím. V případě poruchového stavu se může stát, že se tato neživá část stane živou. Za neživou část se považuje i vodič PEN. [7]

Neživé části rozvodných elektrických zařízení nn (do 1000 V) [7]

- 1) Vodivé kostry strojů (točivé i netočivé),
- 2) vodivé kostry nebo kryty elektrických přístrojů a součásti rozvodného elektrického zařízení,
- 3) nosné konstrukce a prvky nesoucí elektrické předměty elektrických rozvodných zařízení vyrobených z vodivých materiálů (kov).
Výjimkou z bodu 3) jsou (není nutné je chránit):
 - Konzole upevňující zařízení třídy II nebo s rovnocennou izolací,
 - část kotevního drátu, který je oddělen od kotvené konstrukce izolátorem, který je mimo dosah (minimálně 3 metry nad zemí),
 - konzole a háky, které nesou vedení tvořené z holých vodičů, jsou umístěny na dřevěných nebo železobetonových sloupech a jsou mimo dosah,
 - nosná lana samonosných závěsných kabelů,
 - kotevní dráty bez použití kotevního izolátoru (také vzpěry), které jsou ukotveny ve zdivu a jsou mimo dosah (minimálně 3 metry nad zemí),
 - kotevní drát na nevodivém stožáru (dřevěný nebo betonový), který je umístěn dále než 20 cm od kovové části podpěry vedení,
 - armatura železobetonových sloupů (ocelová výztuž),
 - trubkové opěrné body, které nesou vedení tvořené holými vodiči, pokud jsou ukotveny na střeše případně ve zdivu daného objektu a jsou umístěny mimo dosah (minimálně 3 metry nad přístupným stanovištěm).
- 4) Kovové trubky elektrického vedení s daným instalačním materiálem.
Výjimkou z bodu 4) jsou (není nutné je chránit):
 - Pláště plášťových trubek (i ohebných) a jejich příslušenství,
 - kovové trubky, které chrání elektrické zařízení třídy II (kabely) nebo s rovnocennou izolací,
 - příchytky a závěsy kovových trubek vyrobených z kovu.
- 5) Kovové obaly (pláště a pancíře kabelů, chráněných vodičů a jejich vodivé příslušenství jako jsou rozvodky, koncovky, spojky),
- 6) vodivé zábrany, které lze oddělat, jestliže nejsou vodivě spojené s chráněnými částmi.

4.6 Prostředky základní ochrany

Základní ochrana se mnohdy označuje jako „Ochrana před nebezpečím úrazu elektrickým proudem při normálním provozu“ nebo „Ochrana před přímým dotykem“. [7]

4.6.1 Rozdělení ochran

Základní ochrana může být tvořena více způsoby: [7]

- Polohou,
- zábranou,
- přepážkami nebo kryty,

- izolací živých částí.

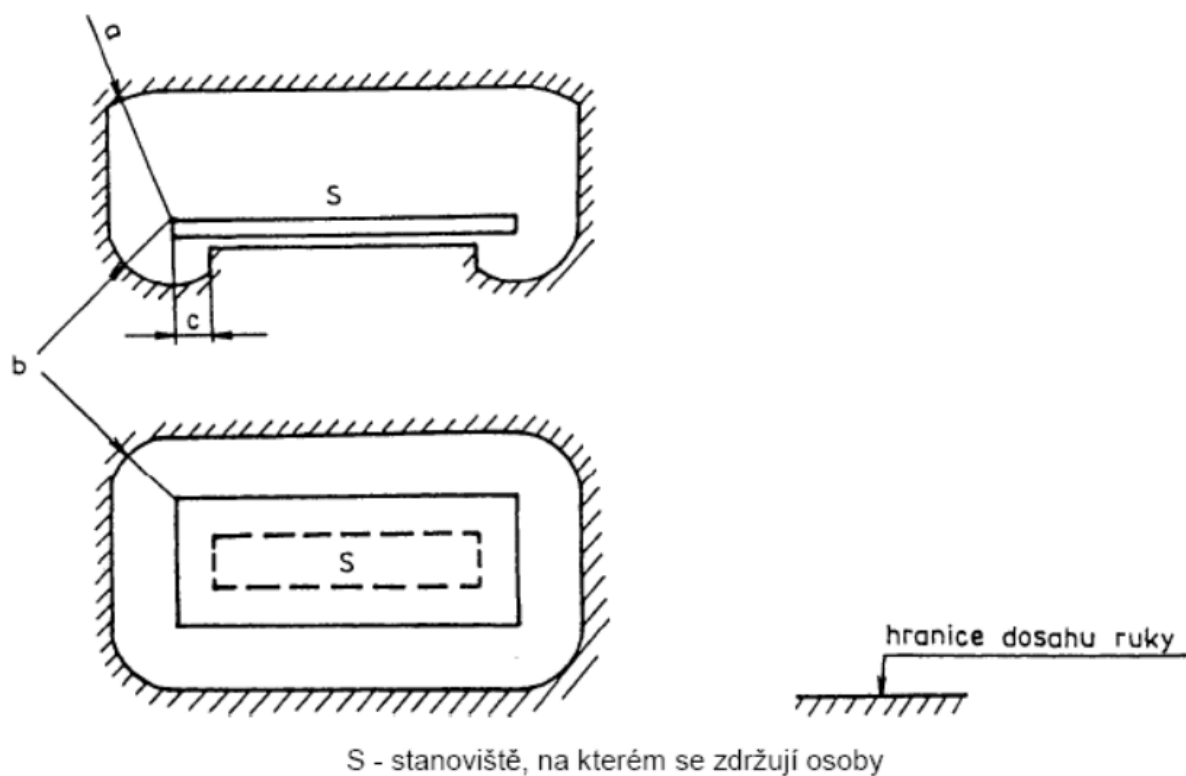
4.6.2 Požadavky na jednotlivé druhy ochran

Ochrana polohou [7]

Typ ochrany, kde se živé části umístí mimo dosah, a tím se zabrání náhodnému dotyku živých částí.

Zóna dotyku ruky je vymezena na obrázku níže (kótami a, b, c). Předpokládá se, že dvě části jsou současně přístupné dotyku, pokud od sebe nejsou vzdáleny více jak 2,5 m.

Jestliže je místo omezeno nějakou zábranou (zábradlí, pletivo), které má krytí menší než IP2X nebo IP XXB, tak se dosah ruky b (m) počítá od této zábrany. Směrem nahoru se počítá dosah ruky jako a (m). Směrem dolů pod stanovištěm se dosah ruky počítá jako c (m). Všechny vzdálenosti jsou počítány pro přímý dosah ruky pro dotyk bez jakýchkoli pomůcek (náradí, žebřík).



Obrázek 4.1 - znázorněný možný dosah ruky ve vodorovném a svislém směru od stanoviště S [7]

V prostorech, kde se manipuluje s dlouhými nebo velkými předměty z vodivých materiálů, se musí tyto vzdálenosti zvětšit v závislosti na velikosti daných předmětů. [7]

Vzdálenosti jsou nadále určovány dle toho, o jaké napětí se jedná, nebo zda mají do prostorů přístup laici a osoby seznámené. [7]

- 1) Prostory nepřístupné laikům a osobám seznámeným

1.1) Zařízení kategorie napětí II (nn)

- a = 2,5 m pro vnitřní zařízení
- a = 2,7 m pro venkovní zařízení
- b = 1,25 m pro vnitřní i venkovní zařízení
- c = 0,75 m pro vnitřní zařízení

1.2) Zařízení kategorie napětí A (vn)

- a = 2,5 m pro vnitřní zařízení
- a = 2,7 m pro venkovní zařízení
- b = 1,5 m pro vnitřní i venkovní zařízení
- c = 0,9 m pro vnitřní zařízení

2) Prostory přístupné laikům a osobám seznámeným

- a = 5 m (nn a vn); vvn alespoň 6 m
- b = 3 m

Pro další zabezpečení jsou předpisy v dalších normách např. ČSN EN 50110-1 (pro práci v blízkosti elektrických zařízení).

Ochrana zábranou [7]

Ochrany zábranou jsou instalovány pro náhodný dotyk živých částí. Tyto zábrany nebrání úmyslnému dotyku záměrným obejítím této zábrany. Zábrany mohou být odnímatelné bez použití klíčů nebo nástrojů, avšak musí být upevněny tak, aby nedošlo k jejich neúmyslnému náhodnému odstranění.

- 1) Prostory přístupné laikům a osobám bez požadované odborné způsobilosti v elektrotechnice
 - uzamčení nebo neodnímatelné ohrazení (mříž, oplocení) – dostatečně vzdáleno od živých částí podle „Ochrana polohou“.
- 2) Prostory nepřístupné laikům a osobám bez požadované odborné způsobilosti v elektrotechnice
 - uzavření nebo ohrazení (zábradlí, mříž, plot), může být odnímatelné.

Předměty, které tvoří zábranu, by měly být mechanicky pevné a nepoddajné. Doporučuje se, aby tyto předměty byly vyrobeny z izolačních materiálů. Pokud je mechanická zábrana poddajná (např. provaz), musí být předepsané vzdálenosti dodrženy od jeho maximálního prohnutí směrem k elektrickému zařízení, a musí být vyrobené z nevodivých materiálů.

Ochrana přepážkami nebo kryty [7]

Přepážky a kryty slouží k tomu, aby bránily dotyku živých částí. Mají zajišťovat stupeň ochrany alespoň IPXXB nebo IP2X. V případech, kdy se otvory objeví při výměně určitých částí (např. výměna žárovek, pojistky apod.) musí být zajištěna:

- Vhodná opatření proti náhodnému dotyku živých osob či hospodářských zvířat,

- informování osob, že se otvorem mohou dotknout živých částí, a že do otvoru nemají nic vkládat,
- otvory mají být tak malé, aby byly pouze pro řádnou funkci či výměnu částí.

Rozváděče a kabelové skříně musí splňovat krytí minimálně IP4X nebo IPXXD.

Kryty a přepážky musí být ujištěny pevně a stabilně tak, aby při normálním provozu, známých vnějších vlivech a působení prostředí zajišťovaly předepsaný stupeň ochrany.

Kryty nebo přepážky musí být odstraněny pouze:

- Pomocí klíčů nebo nástrojů,
- po samočinném odpojení živých částí, a zároveň napájení může být obnoveno pouze v případě umístění krytů a přepážek zpět na původní místo.

Elektrická zařízení, která jsou určena k zabudování mají v dokumentaci předepsáno, jakým způsobem zabudování se potřebného krytí dosáhne. Po zabudování dojde k posouzení, zda toto krytí elektrické zařízení splňuje.

Pokud se v elektrickém zařízení nacházejí součástky, které by mohly způsobit nebezpečné elektrické náboje na zařízení i po jeho odpojení (kondenzátory), musí být toto upozornění uvedeno ve výstražné tabulce na tomto zařízení.

Ochrana živých částí izolací [7]

Základní ochrana je obvykle zajištěna základní izolací. Přídavná nebo dvojitá izolace zajišťuje ochranu při poruše.

Požadavky na základní ochranu a ochranu při poruše:

Elektrické zařízení spadá do těchto typů nebo je typově zkoušené a označené:

- Má zesílenou nebo dvojitou izolaci (třída ochrany II),
- zařízení ekvivalentní k zařízení třídy ochrany II – označování jako izolačně kryté.

Elektrické zařízení pouze se základní izolací musí být doplněno přídavnou izolací v průběhu jeho montáže. Podmínka je, že musí být zajištěn alespoň stejný stupeň ochrany třídy II.

Pokud elektrické zařízení technicky neumožňuje použití dvojité izolace, musí být doplněno zesílenou izolací.

Ochrana doplňkovou izolací [7]

Ochrana doplňkovou izolací znamená, že se elektrické zařízení vybaví tzv. elektrickým stanovištěm. V praxi to znamená, že se zařízení může vybavit např. izolačním kobercem, případně se využívá ochranných pomůcek (vypínací tyče, dielektrické rukavice).

Ochrana doplňkovou izolací se využívá pouze v případě, pokud k elektrickému zařízení mají přístup pouze osoby s elektrotechnickou kvalifikací (vyjma laiků a pracovníků seznámených).

Doplňková ochrana musí mít takový rozsah, aby byl znemožněn nebezpečný přímý dotyk (v případě izolačního koberce musí být jeho velikost taková, aby elektrické zařízení nebylo v dosahu osob mimo tuto doplňkovou ochranu). Ochrana musí být zajištěna proti přemístění.

5 Pozitiva a negativa paralelního provozu sítí NN

Spojením dvou sítí nízkého napětí, kde je každá z nich napájena svojí DTS, vznikne zjednodušená mřížová síť. Mezi těmito dvěma transformátory je hlavní vedení, které má obvykle větší průřez. Na vhodném místě vedení je umístěna pojistka, která se nazývá pojistka slabé vazby. Z hlavního vedení vedou odbočky do dalších větví, které jsou opět jištěny pojistkami. V těchto větvích jsou použity menší průřezy vedení/kabelů dle počtu odběrů a odebírané energie.

5.1 Výhody paralelního provozu sítí nn

5.1.1 Spolehlivost

Pravděpodobnost bezporuchového chodu

Každý prvek v síti (transformátor, vedení/kabel, generátor atd.) má danou svoji pravděpodobnost poruchy. Pokud k této poruše dojde, tak ovlivní danou síť. V takovém případě záleží na typu a uspořádání sítě. Podle toho je poté postiženo určité množství odběratelů výpadkem dodávky elektrické energie.

V případě, že se jedná o síť s nízkou spolehlivostí dodávky elektrické energie (např. paprsková) a dojde zde k výpadku (poruše) části vedení nebo DTS, jsou všichni uživatelé za tímto zařízením postiženi výpadkem dodávky. V případě sítě napájené ze dvou stran by musely být použity např. směrové ochrany, aby byl vypnut správný úsek sítě. Při použití obvyklých pojistek (jak to v praxi bývá) dojde k rozpojení sítí ve slabé vazbě a následně odpojení daného úseku, ve kterém se nachází porucha.

5.1.2 Kvalita napětí

Kvalita napětí v dané síti má více kritérií. Ať už se jedná o velikost napájecího napětí, rychlé změny napájecího napětí, flikr, nesymetrie napětí, harmonická napětí atd.

Velikost napájecího napětí

Dle normy je velikost napájecího napětí v sítích nízkého napětí stanovena na 230 V fázových a 400 V sdružených s danými odchylkami (viz kapitola 3). S tím souvisí i nežádoucí úbytek napětí. Ten závisí na více faktorech a to: průřezu vodiče, zatížení vodiče, materiálu, ze kterého je vodič vyroben (respektive na odporu a reaktanci) a délce vodiče (na jakou vzdálenost je energie přenášena). Napájením sítě ze dvou stran, respektive jejich paralelním spojením, se snažíme vyrovnat napěťové poměry v síti a dosáhnout požadovaných hladin napájecího napětí.

Ostatní kritéria pro kvalitu napětí

Změny napájecího napětí, flikr nebo harmonická napětí jsou lokální „poruchy“ (nebo nežádoucí jevy). Takto propojené sítě se navzájem ovlivní. Jednu to může ovlivnit pozitivně a druhou negativně. Pokud by v jedné síti bylo pozorováno např. zvýšené harmonické napětí, flikr nebo nesymetrie napětí oproti síti druhé, tak spojením těchto dvou sítí dojde k přenosu zmíněných nežádoucích charakteristik i do sítě druhé. Z toho vyplývá, že jedné síti toto spojení může kvalitu napětí zlepšit a druhé zhoršit. V určitých případech může dojít také ke zlepšení kvality napětí v obou sítích. Pokud bude např.

nesymetrie jedné sítě způsobena jinými fázemi oproti síti druhé, může dojít k symetrizaci, a kvalita se tím zlepší. Všeobecně vzato paralelním propojením sítí by se měli jejich charakteristiky zlepšit. Některé charakteristiky nesplňující kritéria normy v jedné síti se mohou rozšířit do druhé sítě, a tím jsou více tlumeny.

5.1.3 Využití transformátorů

Při napájení sítě dvěma DTS dochází k rovnoměrnému rozdělení zatížení na oba transformátory. Do takové sítě lze pak dodávat více energie za cenu menších ztrát na vedení či transformátorech. Provoz dvou paralelně zapojených transformátorů však musí splňovat tyto podmínky:

- Stejný sled fází,
- stejné hodinové číslo,
- stejné jmenovité napětí,
- stejný převodový poměr,
- stejné napětí nakrátko,
- poměr výkonů nesmí přesáhnout 1:3,2.

Stejný sled fází a stejné hodinové číslo musí být vždy přesně dodrženy. Pokud by tomu tak nebylo, došlo by ke zkratu.

Stejný převodový poměr (nebo jmenovité napětí) by měl být dodržen velmi přesně. I při malých rozdílech by začaly protékat vyrovnávací proudy a zbytečně tak zatěžovat (při větším rozdílu i přetěžovat) transformátory.

Stejné napětí nakrátko je také nutné dodržet, jinak opět dojde k přetokům vyrovnávacích proudů.

Poměr jmenovitých výkonů nesmí být větší než 3,2. Při větším poměru dvou paralelně pracujících transformátorů by menší transformátor byl pouze malý přínos výkonu a nebyl by tolik zatěžován jako druhý (větší) transformátor. Poté by jej nemělo smysl tento využívat.

5.1.4 Ztráty

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1.3, tak při napájení sítě ze dvou stran dochází k menším ztrátám. Je to způsobeno přenosem elektrické energie na kratší vzdálenosti a výhodnějším rozložením zatížení na DTS.

V případě paprskové sítě musí energie pro koncového odběratele dané větve urazit nejdelší vzdálenost od DTS. Pokud je však síť napájena ze dvou stran, vzdálenosti se sníží a tím se sníží i ztráty na vedení.

5.2 Nevýhody paralelního provozu

5.2.1 Zkratové proudy

Všeobecně jsou v mřížových sítích mnohem větší zkratové proudy. Pokud bychom paralelní spojení brali jako zjednodušenou mřížovou síť, jsou vyšší zkratové proudy i zde. Síť je totiž připojena na dvou místech k nadřazené soustavě vyššího napětí. To znamená, že se do sítě dostane více poruchového proudu.

Lze to brát ovšem také jako pozitivum. Vyšší zkratové proudy znamenají bezpečné odpojení poruchy od zbytku sítě, případně vybavení pojistky slabé vazby a rozdělení sítě na dva paprsky. Jelikož mají pojistky zkratovou odolnost klidně i přes 100 kA, je zaručeno, že pojistka vydrží i velmi vysoké zkratové proudy.

5.2.2 Vyšší cena

Související s kapitolou 5.2.1 je i pořizovací cena. Z důvodu vyšších zkratových proudů je nutné takovou síť dimenzovat, aby těmto nepříznivým účinkům odolala. Vodiče tak musí snést větší tepelné a mechanické namáhání při poruše.

5.2.3 Zavlečení parazitních jevů do jiné sítě

Jak již bylo zmíněno, paralelním propojením sítí dojde také k rozšíření jejich negativních jevů do druhé sítě. V takovém případě záleží na velikosti sítě, ale také na tom, jak velké tyto negativní účinky jsou. V některých případech může toto spojení účinky negativních jevů natolik utlumit, že po něm budou síť splňovat kritéria napěťových charakteristik. V opačném případě, kdy jsou tyto negativní jevy natolik silné, že ani paralelní propojení nepomůže, nebudou splněna kritéria ani v jedné síti.

6 Modelace paralelního provozu vybraných sítí

V této kapitole budou modelovány a analyzovány celkem čtyři sítě. Jsou to dvě dvojice různých sítí ze dvou odlišných míst (město a vesnice). V období cca jednoho měsíce (září/říjen 2018) proběhlo měření v několika místech těchto sítí. Ty byly provozovány jako paprskové, ale na určité období se v jedné rozpojovací skříni propojily, a proběhlo měření, které určilo dopad tohoto propojení. Měřidla byla umístěna na obou distribučních transformátorech 22/0,4 kV a v místě propojení (slabé vazby) byly umístěny další dvě měřidla (jedno na stranu každé sítě).

6.1 Sít' 1

Tato síť je tvořena dvěma paprskovými sítěmi, které se paralelně propojily. Každý ze dvou paprsků je napájen distribučním transformátorem o zdánlivém výkonu 400 kVA. Označil jsem dané sítě jako síť A a síť B. Síť A je na obrázku 6.2 vykreslena žlutou barvou a je napájena distribučním transformátorem označeným jako DTS1. Síť B má barvu růžovou a je napájena z DTS2.

Sít' A

Síť napájí distribuční transformátor DTS1. Z něho je až 6 vývodů do různých paprsků. Pro mou modelaci je důležitý pouze jeden vývod a ten je zobrazen na obrázku 6.3. S druhou sítí se spojuje v rozpojovací skříni RS6. Vývod z transformátoru je realizován kabelem AYKY o průřezu 240 mm² dlouhým 63 metrů do rozpojovací skříně RS1. Odtud je dále vzdušné vedení AlFe6 o průřezu 70 mm². Délka vedení o tomto průřezu až do RS6 (místo propojení s druhou sítí) je 513 metrů. Další odbočky (větve) z vedení jsou buď stejného průřezu, nebo menšího. Záleží na počtu odběratelů na dané větvi. Jedná-li se o odbočku pro jednoho odběratele, je většinou realizována kabelem AYKY o průřezu 16 mm². Další odbočky pro více odběratelů jsou realizovány dle předpokládaného zatížení (např. AlFe 50 mm², AlFe 35 mm²). V této síti se také nachází 6 fotovoltaických elektráren, které dodávají vyrobenou energii do sítě (v modelaci nejsou zahrnuty).

Sít' B

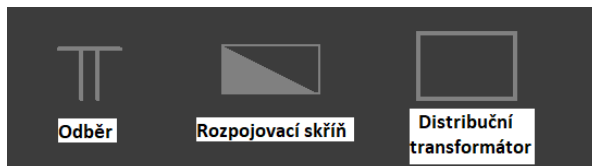
Síť je napájena z distribučního transformátoru DTS2. Oproti síti A je to pouze kabelová síť a je viditelně menší. Vývody trafa jsou do každé rozpojovací skříně, tedy do RS8, RS9, RS10 a RS11. Vývod do skříně RS8 a dále do RS6 (místa propojení) je realizován pomocí kabelu AYKY 120 mm² o celkové délce 203 metrů. Celá tato síť je tvořena kabelem AYKY o průřezu 120 mm², pouze spojení RS10 a RS11 je tvořeno kabelem AYKY 150 mm². Do této sítě pracují dvě fotovoltaické elektrárny (v modelaci nejsou zahrnuty).

6.1.1 Modelace sítě 1 v programu Daisy Bizon Projektant

Výše popsané sítě A a B jsou modelovány v programu Daisy Bizon Projektant. Úkolem této modelace je zjistit, jak bude propojení na tyto sítě působit. Je nutné provést simulaci ustáleného chodu pro oba případy (rozpojený i propojený stav). Tím lze zjistit jaký vliv (hlavně na napětí na koncích sítí) bude toto propojení mít. Jelikož se jedná pouze o simulaci, tak nelze přesně předpovědět, jak se toto

propojení projeví. To bude zjištěno až po analýze dat, která se naměří při reálném propojení, a následně vyhodnotí.

Legenda značení modelace:



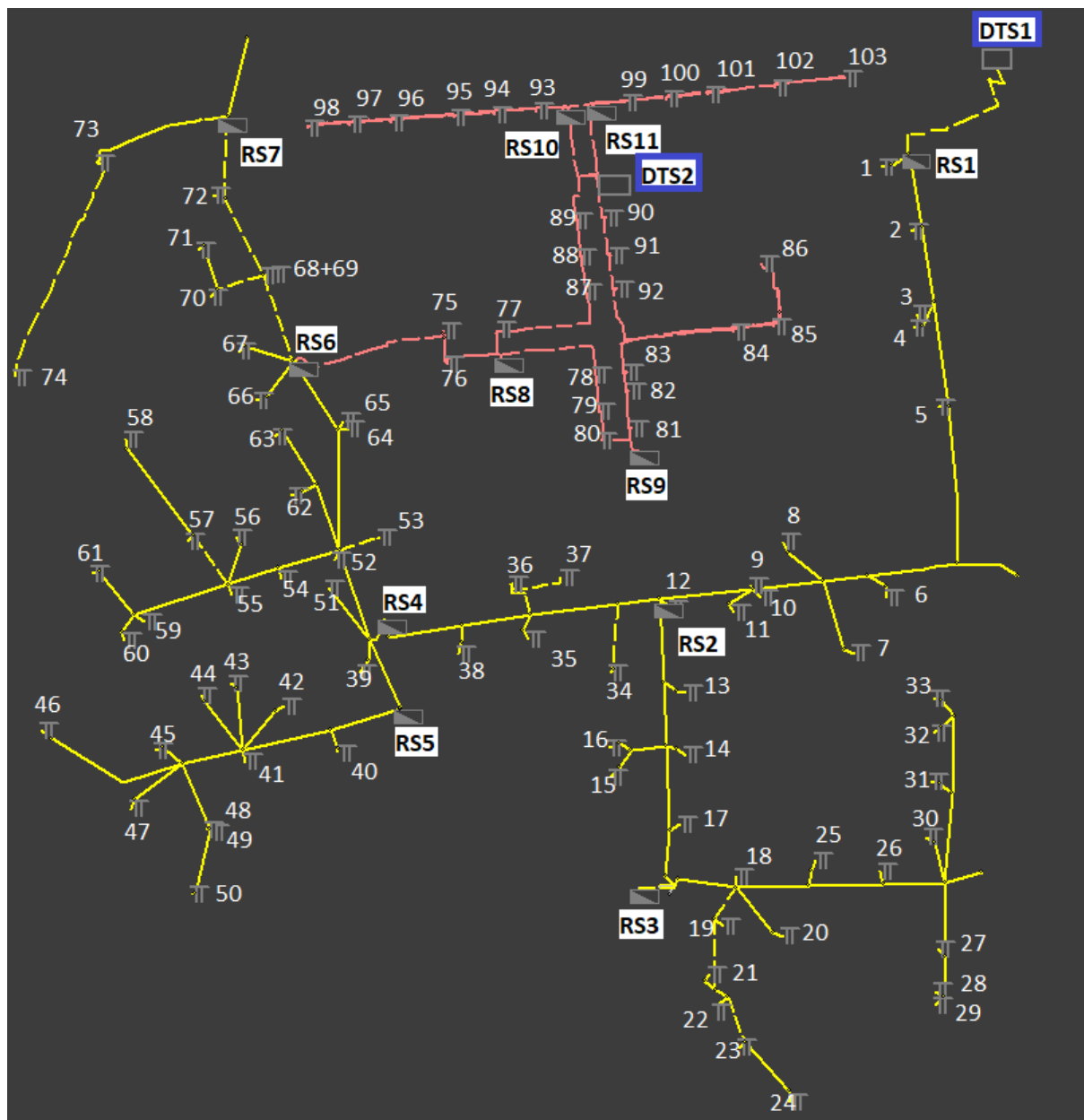
Obrázek 6.1 - legenda značek modelace

Celá síť (sít' A i B) včetně všech vývodu z DTS1.



Obrázek 6.2 - celá síť 1 modelována v Daisy Bizon Projektant

Jak je uvedeno výše, pro modelaci je důležitý pouze jeden vývod z DTS1. Na obrázku 6.3 je zobrazena síť pouze s požadovaným vývodem sítě A z DTS1 a také celá síť B. Jsou zde také očíslované odběry 1 až 103.



Obrázek 6.3 - síť I s vyznačenými odběry, rozpojovacími skříněmi a DTS

Nyní je potřeba provést simulaci ustáleného chodu sítě a zjistit úbytky napětí pro odběratele na konci větví. To se poté provede i pro paralelně propojení sítě. Porovnáním těchto úbytků se zjistí, zda se propojení vyplatí realizovat.

V této síti je důležité ověřit odběratele, kteří jsou nejvíce vzdáleni od napájecího transformátoru a dochází u nich k nejvyššímu úbytku napětí.

Tabulka 6.1 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 1 - rozpojený stav

sít' A		sít' B	
odběr č.	napětí (V)	odběr č.	napětí (V)
24	208	80	230
29	207	79	230
33	207	78	230
46	206	76	230
47	206	75	230
50	206	77	230
58	206		
61	206		
71	206		
74	206		

Z tabulky 6.1 je zřejmé, že v síti A jsou mnohem větší úbytky napětí než v síti B (dle simulace v této síti nejsou téměř žádné úbytky). To je způsobeno více faktory. Prvním z nich je rozsáhlost sítě. Síť A je mnohem rozsáhlejší, respektive má odběratele dále od napájecího transformátoru. Druhým, a tím nejdůležitějším faktorem, je to, že síť B je tvořena pouze kabelovým rozvodem, kdežto síť A má hlavní větev tvořenou venkovním vedením s typem vodiče AlFe6 70 mm² a další odbočky z této větve mají odstupňovaný (snížený) průřez. Obecně má kabel menší impedanci, a dochází na něm tedy k menšímu úbytku napětí. Proto se napětí v celé kabelové síti pohybuje s minimálními zanedbatelnými úbytky napětí. Naproti tomu v síti A je už dle tabulky vidět, že zde jsou úbytky napětí mnohem vyšší.

Paralelním propojením sítě A a B předpokládáme, že snížíme úbytky napětí v síti A, a naopak zvýšíme úbytky napětí v síti B.

Tabulka 6.2 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 1 - propojený stav

sít' A		sít' B	
odběr č.	napětí (V)	odběr č.	napětí (V)
24	219	80	227
29	218	79	227
33	223	78	227
46	222	76	227
47	221	75	226
50	221	77	227
58	223		
61	223		
71	225		
74	219		

Při porovnání tabulek 6.1 a 6.2 je splněn předpoklad a došlo ke snížení úbytků napětí v síti A. Úbytek napětí v síti B se mírně zvýšil a je nyní 3 až 4 volty. To je přijatelné při uvážení, že napětí se v síti A zlepšilo o více než 10 voltů. Ustálený chod byl simulován pro všechny odběry. Ty jsou zobrazeny v příloze A včetně napětí při rozpojeném i propojeném stavu a jejich změny.

Ověření selektivity jištění

Dalším krokem v simulaci těchto sítí je ověření selektivity jištění. Opět je nutné ověřit selektivitu pro rozpojený/propojený stav a porovnat, jak toto propojení ovlivní nutnost jištění sítě. Pojistky jsou osazeny na vývodech z DTS a také v rozpojovacích skříních.

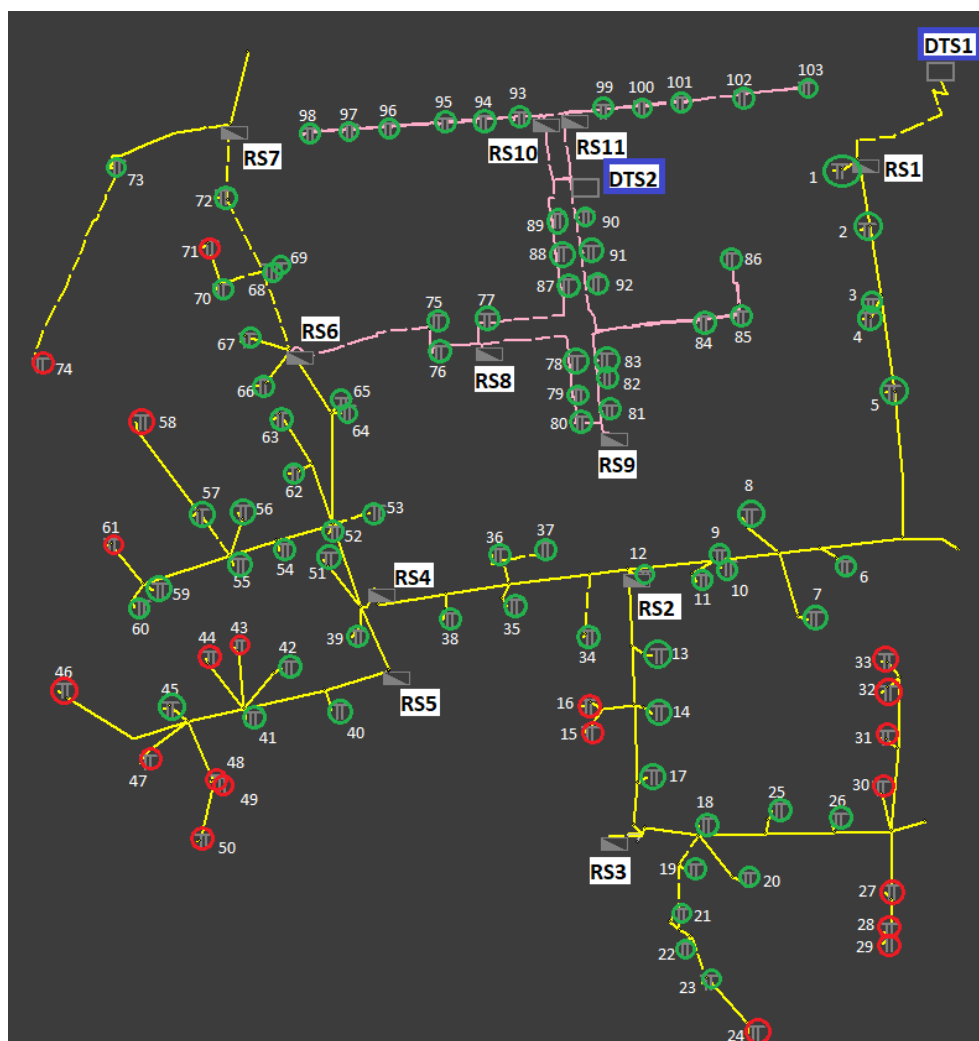
Pomocí programu lze určit vypínací časy všech odběrů při poruše. Dle normy PNE 33 0000-1 ed. 6 je nutné poruchu v síti nn odpojit do času 30 sekund.

Tabulka 6.3 - pojistky v rozpojovacích skříních sítě 1

Rozpojovací skříň	Typ pojistky	Vývod	Jmenovitý proud I_n (A)
RS1	PN2gG 160	RS2	160
RS2	PN2gG 125	RS3	125
	PN2gG 125	RS4	125
RS3	PN2gG 160	RS2	160
	PN2gG 125	větev	125
RS4	PN2gG 125	RS5 + RS6	125
RS5	--	--	--
RS6 (slabá vazba)	--	--	--
RS7	PN2gG 125	větev	125
RS8	PN2gG 160	RS9	160
	PN2gG 200	DTS2	200
	PN2gG 63	odběratel	63
	PN2gG 100	RS6	100
RS9	PN2gG 200	DTS2	200
RS10	PN2gG 224	DTS2	224
	PN2gG 200	RS11	200
	PN2gG 200	větev	200
RS11	PN2gG 224	DTS2	224
	PN2gG 160	větev	160
	PN2gG 125	odběratel	125

Selektivita jištění byla vypočítána pro oba stavy (rozpojené i propojené sítě). Pojistky uvedené v tabulce 6.3 jsou takové, které byly v rozpojovacích skříních osazeny v paprskovém zapojení před propojením.

Rozpojeno



Obrázek 6.4 - vyznačení včasně neodpojených odběrů v rozpojeném stavu

Na obrázku 6.4 jsou vyznačeny všechny odběry podle toho, zda splňují čas vypnutí při poruše. Norma PNE 33 0000-1 ed. 6 uvádí, že v sítích nn musí být porucha vypnuta do 30 sekund. Všechny pojistky jsou typu gG pro jištění proti přetížení a zkratu.

U každého odběru byla provedena simulace, zda je při vzniku poruchy odpojen včas. Odběry označené zeleně jsou odpojeny v požadovaném čase. Červenou barvou jsou označeny odběry, které přesahují odpojovací čas 30 sekund, a je proto nutné upravit pojistky v rozpojovacích skříních tak, aby tyto odběry byly vypnuty včas.

Odběry za rozpojovací skříní RS3:

Odběry číslo 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32 a 33 nesplňují požadovaný čas vypnutí. Koncové odběry 29 a 33 dosahovaly vypínacích časů dokonce až 90 sekund.

Dle tabulky 4 vidíme, že je zde osazena pojistka PN2gG 125 o jmenovitém vypínacím proudu 125 A. Proto je nutné tuto pojistku snížit, aby výše uvedené odběry byly vypnuty včas.

Při osazení pojistky PN2gG 100 o jmenovitém vypínacím proudu 100 A místo stávající pojistky dojde ke snížení vypínacích časů.

Při následné simulaci s novou pojistkou již všechny vypínací časy byly pod 30 sekund a **splňovaly** předepsanou normu.

Odběry za rozpojovací skříní RS4:

Zde nesplňují čas vypnutí odběry 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 58, 61, 71 a 74. Nejdelší vypínací časy jsou ve spodní části sítě, přesněji odběr 46 dosahuje vypínacího času téměř 140 sekund.

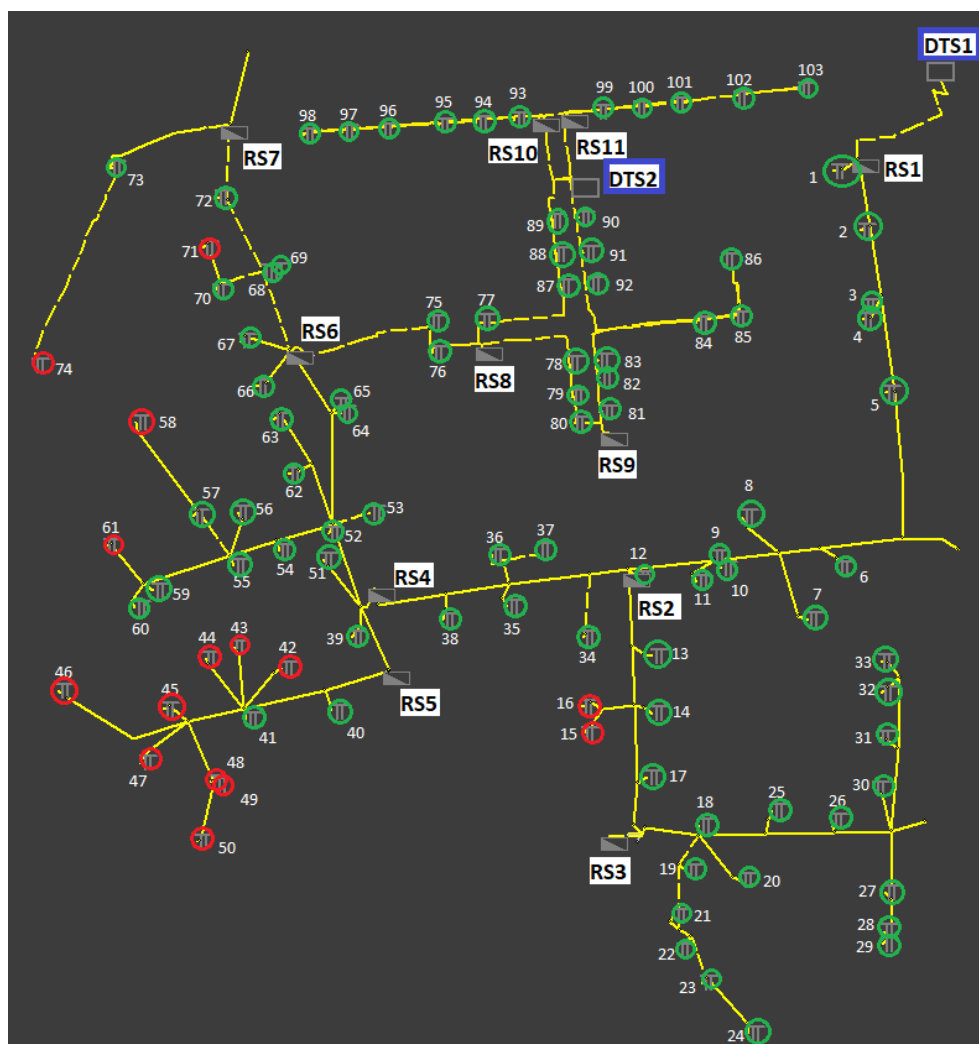
Dle tabulky 6.3 je v rozpojovací skříní RS4 osazena pojistka PN2gG 125 o jmenovitém vypínacím proudu 125 A. Tuto pojistku je nutné snížit.

Opět jako v předešlém případě osadíme pojistku PN2gG 100 o jmenovitém vypínacím proudu 100 A. Všechny vypínací jsou po změně pojistky po 30 sekund, až na odběr 46. Ten je vypnut v čase 35 sekund. V tomto případě se dá tento čas akceptovat, jelikož je to velmi vzdálený odběr. Pojistku pod 100 A snížit nelze, jelikož je zde více odběrů, a mohlo by docházet k nesprávné funkci pojistek. Dalším řešením je jištění samotného odběru svou pojistkou.

Aby byla dodržena selektivita jištění, je nutné také upravit pojistku v RS7 z hodnoty 125 A na hodnotu 100 A.

Odběr 15 a 16 je označen červeně. Jejich vypínací čas je cca do 35 sekund, a proto by nebylo vhodné měnit pojistky v RS2. Tento čas je akceptovatelný stejně jako v případě odběru 46.

Propojeno



Obrázek 6.5 - vyznačení včasne neodpojených odběrů v propojeném stavu

V případě paralelního propojení sítí lze dle obrázku 6.5 vidět, že se změnilы hodnoty poruchových proudů. Za RS3 jsou nyní i při nezměněných pojistkách odběry vypnuty včas. To znamená, že v této části sítě poruchové proudy narostly. Naopak za RS5 se počet odběrů, které nejsou vypnuty v požadovaném čase, zvýšil. To znamená, že se zde poruchový proud snížil.

Při poruše v paralelním provozu těchto dvou sítí, je nutné, aby došlo k rozpojení ve slabé vazbě. Pokud by k rozpojení nedošlo, mohly by se rozpadnout obě sítě.

V paralelním provozu nejsou při poruše odpojeny odběry 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 58, 61, 71 a 74 (vyznačeno červeně na obrázku 6.5).

Stejně jako v předchozím případě, tak i zde je nutné snížit pojistku v RS4 ze 125 A na 100 A. Při umístění pojistky 80 A ve slabé vazbě jsou však vypínací časy stále nevyhovující a stále je překročen vypínací čas v mnoha místech.

Druhým řešením se jeví snížení pojistky v rozpojovací skříni RS6 (slabá vazba) z hodnoty 80 A na nižší řadu pojistek a to je 63 A. V případě ponechání pojistky v RS4 125 A opět nejsou dodrženy vypínací časy v několika místech. Je to dokonce horší než v prvním případě (snížení v RS4 na 100 A)

Jako nejlepší řešení se jeví snížení pojistek v RS4 (na 100 A) i v RS6 (na 63 A). Vypínací časy všech odběrů (až na dva) jsou poté pod 30 sekund. Odběry 46 a 50 překračují vypínací čas (odběr 46 o 9 sekund, odběr 50 o 3 sekundy). Takové vypínací časy jsou přijatelné, jelikož pojistky by již nebylo vhodné nadále snižovat. Dalším řešením je jistit zvlášť každý odběr vlastní pojistkou.

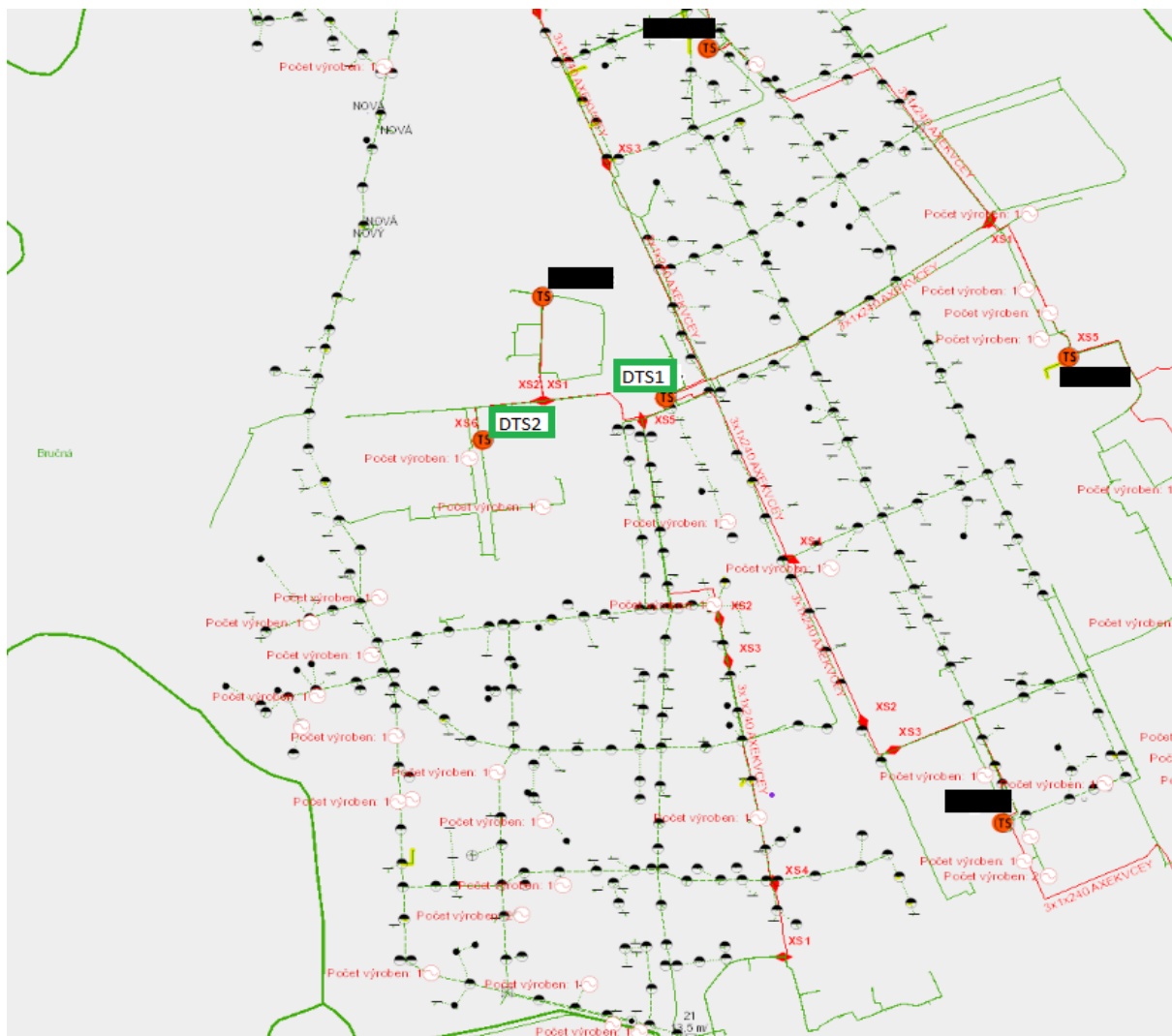
Všechny vypínací časy jsou uvedeny v příloze B (pro varianty rozpojeno/propojeno).

6.1.2 Analýza sítě 1 z naměřených dat

Měření zde probíhalo od 14. 9. 2018 do 15. 10. 2018.

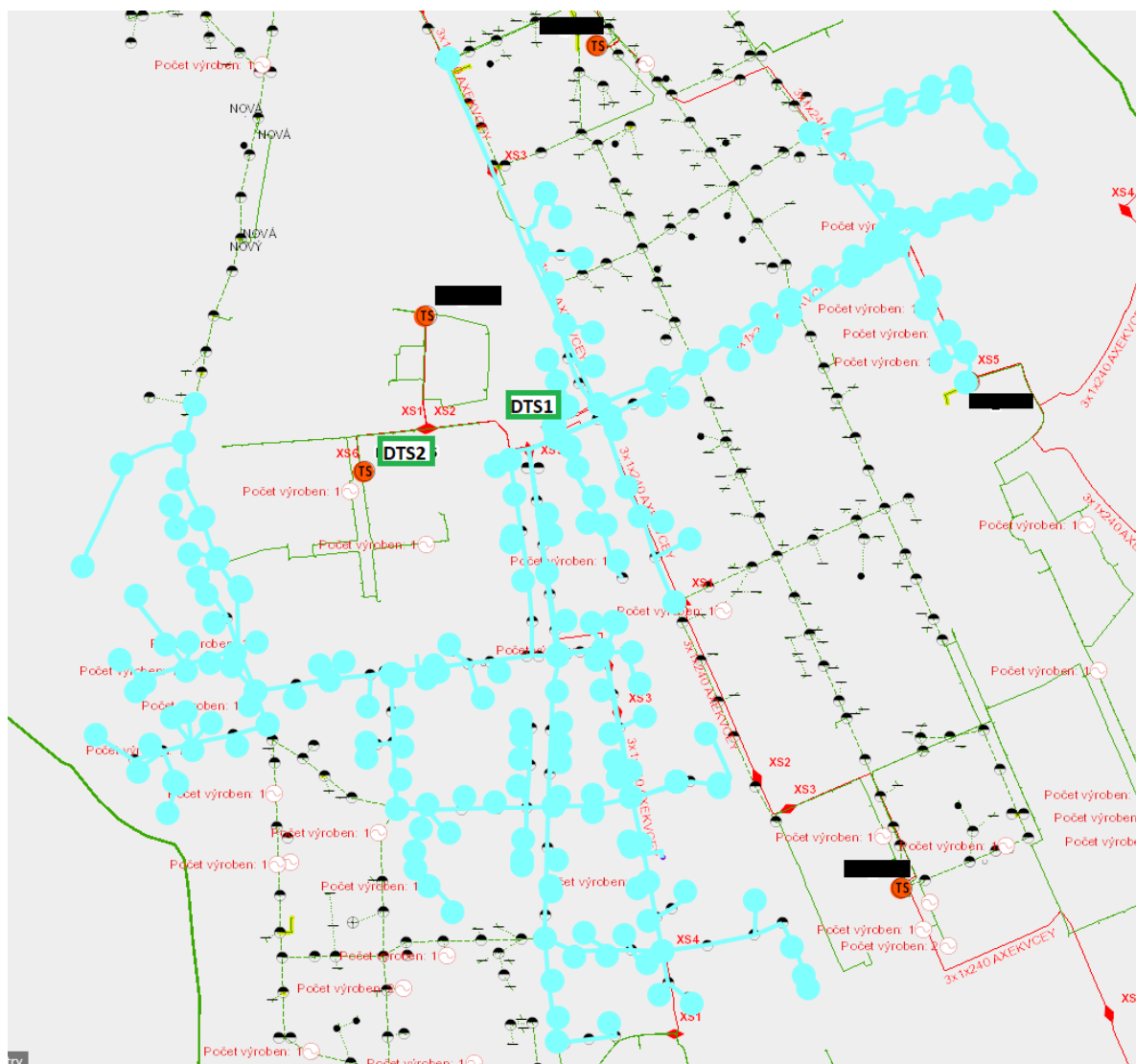
Propojení sítě bylo realizováno 26. 9. 2018 okolo 6:30 a tento stav trval až do 11. 10. 2018 12:30. Poté se síť rozpojila opět do původního stavu (paprsku).

Měření sítě probíhalo na 4 místech – na obou distribučních transformátorech a ve slabé vazbě na vývodech do sítě A a sítě B.

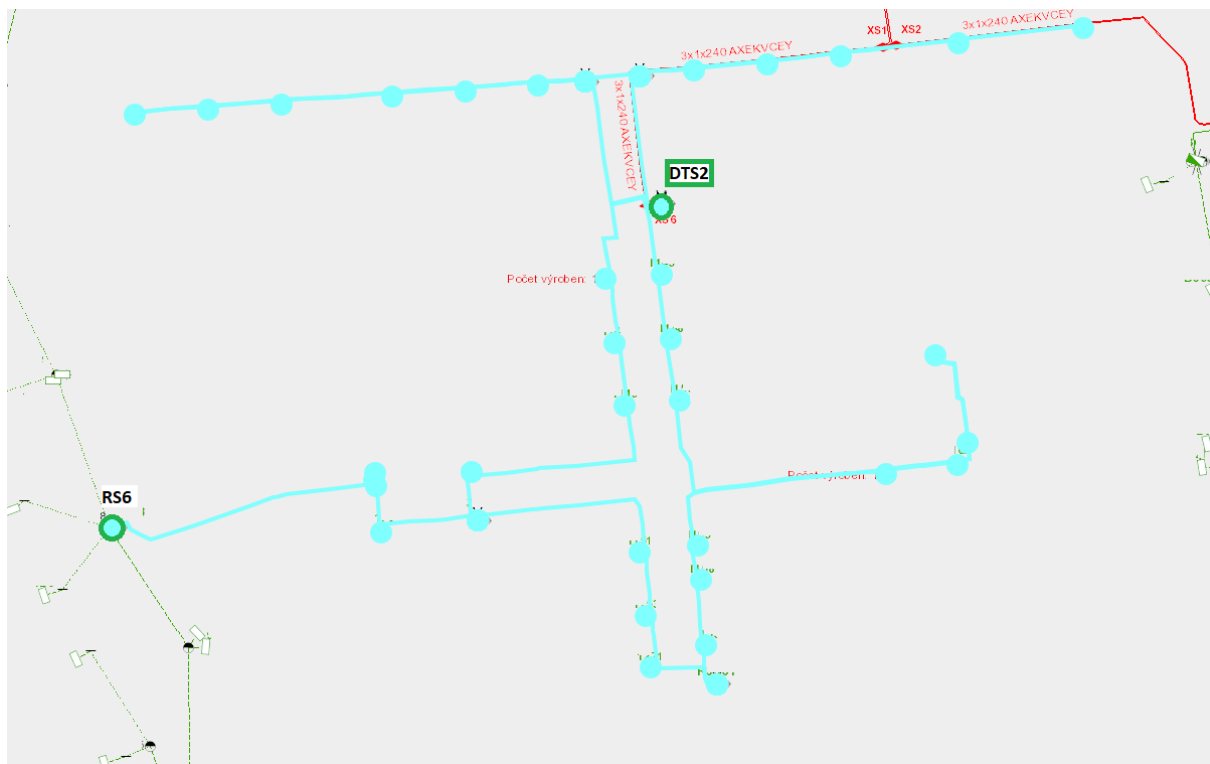


Obrázek 6.6 - mapa celé analyzované sítě 1 s vyznačenými DTS

Na obrázku 6.6 je mapa oblasti, kde se nachází síť 1 skládající se ze dvou paprskových sítí (sít' A, síť B). Vyznačeny jsou i distribuční transformátory DTS1 a DTS2.



Obrázek 6.7 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS1



Obrázek 6.8 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS2

Na obrázku 6.7 a 6.8 jsou obě sítě vyznačeny tyrkysovou barvou (kroužky jsou odběry). Obě sítě jsou propojeny/rozpojeny v místě označeném jako RS6. Propojením v RS6 vznikla v tomto místě slabá vazba.

Požadavky na kvalitu dodávky elektrické energie určuje norma *ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Požadavky na kvalitu podle této normy se určují v týdenních měřicích intervalech (7 po sobě jdoucích dní). V tomto případě se musely určit dva měřicí intervaly. Jeden pro rozpojený (paprskový) stav sítě a druhý pro propojený stav.

Pro rozpojený stav je vyhodnocen týden od 15. 9. 2018 0:00 až do 21. 9. 2018 23:59.

Pro propojený stav je vyhodnocen týden od 28. 9. 2018 0:00 až do 4. 10. 2018 23:59.

Norma udává, že 95 % naměřených hodnot musí splňovat dané kritérium. Proto je v tabulce uvedené percentil 5 pro tyto hodnoty. Percentil 5 znamená, že naměřené hodnoty jsou „lepší“ než 5 % všech ostatních hodnot. Laicky řečeno, jsou to poslední hodnoty (srovnané dle velikosti), které musí mít hodnotu dle normy.

Tabulka 6.4 - hodnoty z měření sítě 1 - percentil 5

<i>percentil 5</i>								
	RS6 – vývod sítě A		RS6 – vývod sítě B		DTS1		DTS2	
	<i>paprsek</i>	<i>propojení</i>	<i>paprsek</i>	<i>propojení</i>	<i>paprsek</i>	<i>propojení</i>	<i>paprsek</i>	<i>propojení</i>
<i>U1</i>	219,33	220,16	227,12	223,78	235,80	234,90	227,02	224,39
<i>U2</i>	209,42	218,09	226,68	222,10	232,43	231,56	226,79	223,75
<i>U3</i>	220,19	219,43	227,47	223,46	235,82	235,24	227,18	224,28
<i>Unes</i>	2,11	0,48	0,34	0,46	0,61	0,73	0,31	0,36
<i>THDU1</i>	4,06	2,10	1,71	2,10	2,17	2,06	1,63	1,90
<i>THDU2</i>	4,81	2,17	1,67	2,17	2,41	2,17	1,66	1,98
<i>THDU3</i>	4,19	2,06	1,59	2,06	2,33	2,25	1,63	1,86
<i>PLT1</i>	0,95	0,49	0,54	0,49	0,56	0,49	0,53	0,50
<i>PLT2</i>	0,99	0,51	0,56	0,51	0,58	0,52	0,56	0,52
<i>PLT3</i>	0,90	0,49	0,54	0,49	0,53	0,49	0,55	0,49
<i>PST1</i>	0,97	0,59	0,66	0,59	0,67	0,60	0,62	0,60
<i>PST2</i>	1,13	0,61	0,67	0,61	0,68	0,62	0,67	0,63
<i>PST3</i>	0,98	0,58	0,62	0,58	0,63	0,60	0,67	0,61
<i>I1</i>	0,07	17,12	0,02	17,21	9,95	31,78	2,04	22,14
<i>I2</i>	0,14	15,60	0,01	15,80	20,45	39,06	4,29	18,40
<i>I3</i>	0,06	17,94	0,06	18,41	22,30	40,20	5,40	20,35

kde

U_x je fázové napětí ve voltech.

Unes je nesymetrie napětí v %.

THDU_x je zkreslení napětí v %.

PLT_x je dlouhodobá míra vjemu flikru.

PST_x je krátkodobá míra vjemu flikru.

I_x je proud v ampérech.

Měření probíhalo v každé fázi a „x“ označuje číslo fáze.

Hodnoty splňující normu jsou označeny zeleně. V tomto případě měření normu splňují všechny naměřené hodnoty v obou případech zapojení.

6.1.3 Porovnání propojené a rozpojené sítě 1

Po analýze kvality dodávané elektrické energie je vidět, že norma je splněna pro oba případy (propojení/rozpojení). Nyní je potřeba určit, jak toto propojení působí na jednotlivé sítě, a zda se vyplatí tyto dvě sítě provozovat v původním paprskovém zapojení nebo v paralelním propojení.

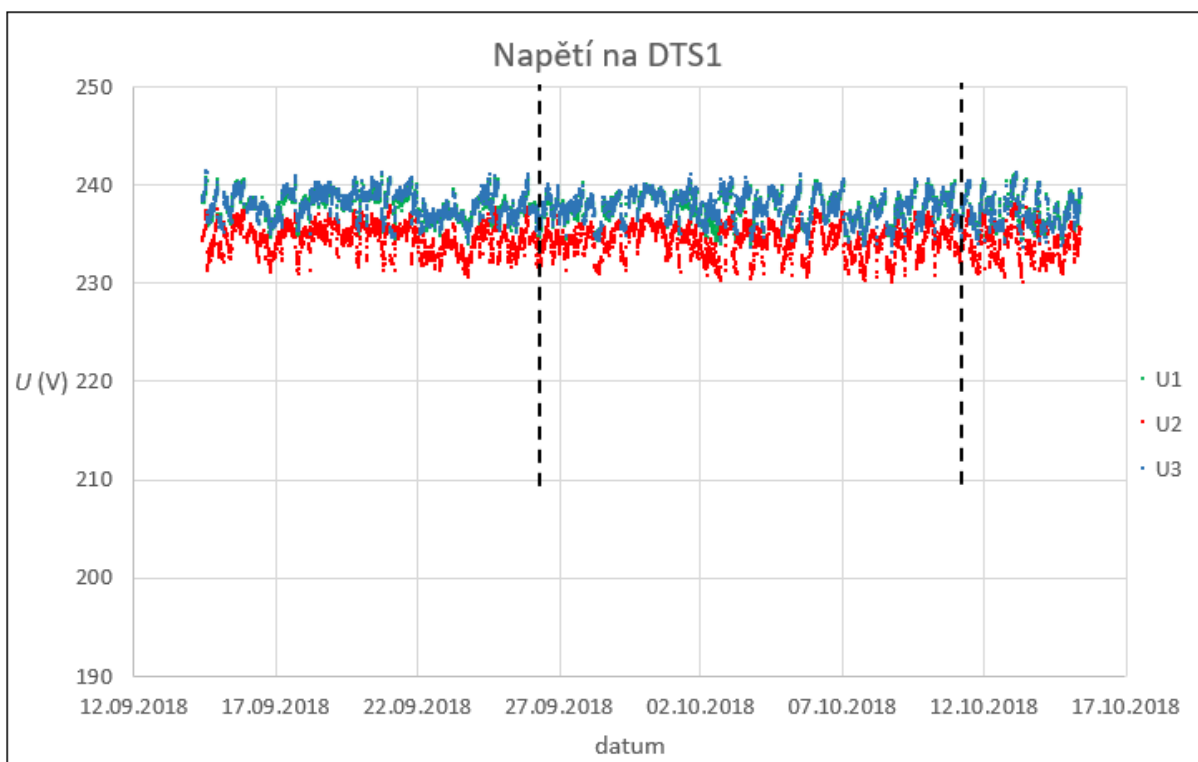
Napětí

Nejprve srovnáme napětí ve všech měřených místech a také jaký mělo vliv propojení na průběh napětí.

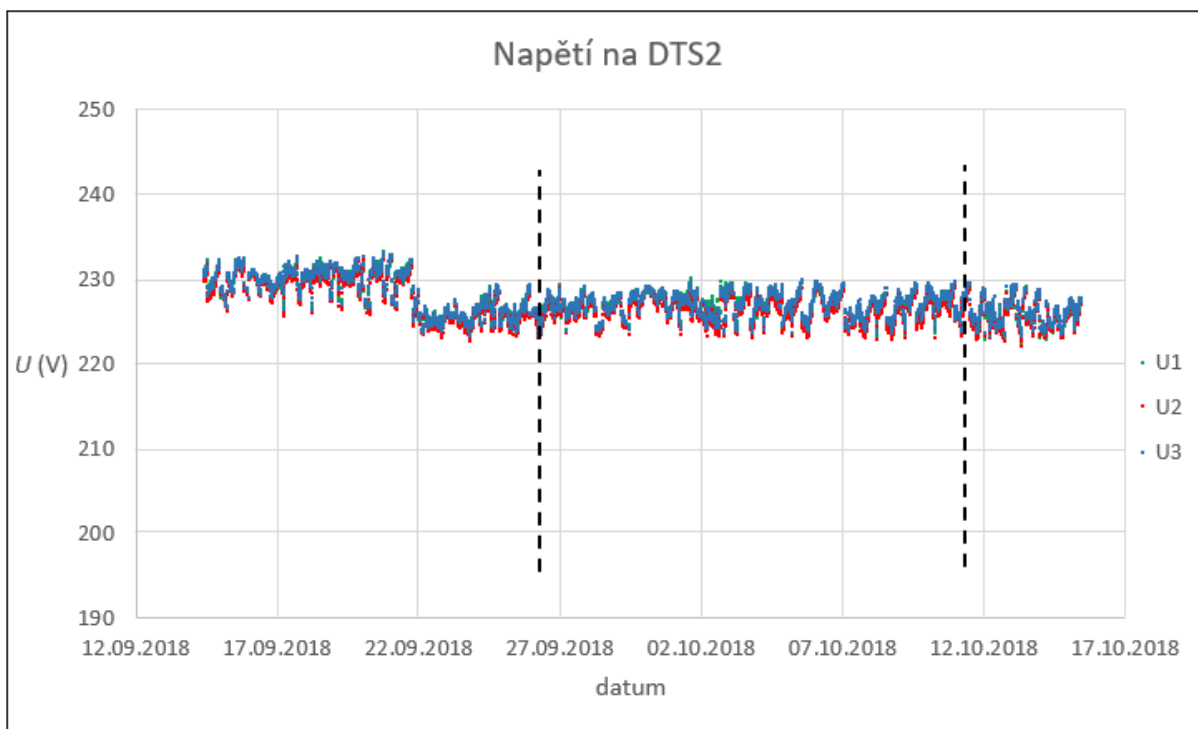
Na grafech lze vidět, že propojení nemělo žádný velký vliv na napětí ani jednoho z transformátorů. Z teoretického hlediska se napětí na sekundární straně řídí napětím na primární straně a převodovým poměrem daného transformátoru. Proto zde nepozorujeme žádné změny při paralelním nebo paprskovém provozu sítě.

Je zde jedna zajímavost na distribučním transformátoru DTS2. Při pohledu na průběh měřeného napětí za celé období lze pozorovat pokles průměrné hodnoty, okolo které se toto napětí pohybuje. Je to pokles o cca 5 V a je způsoben přepnutím odbočky na transformátoru.

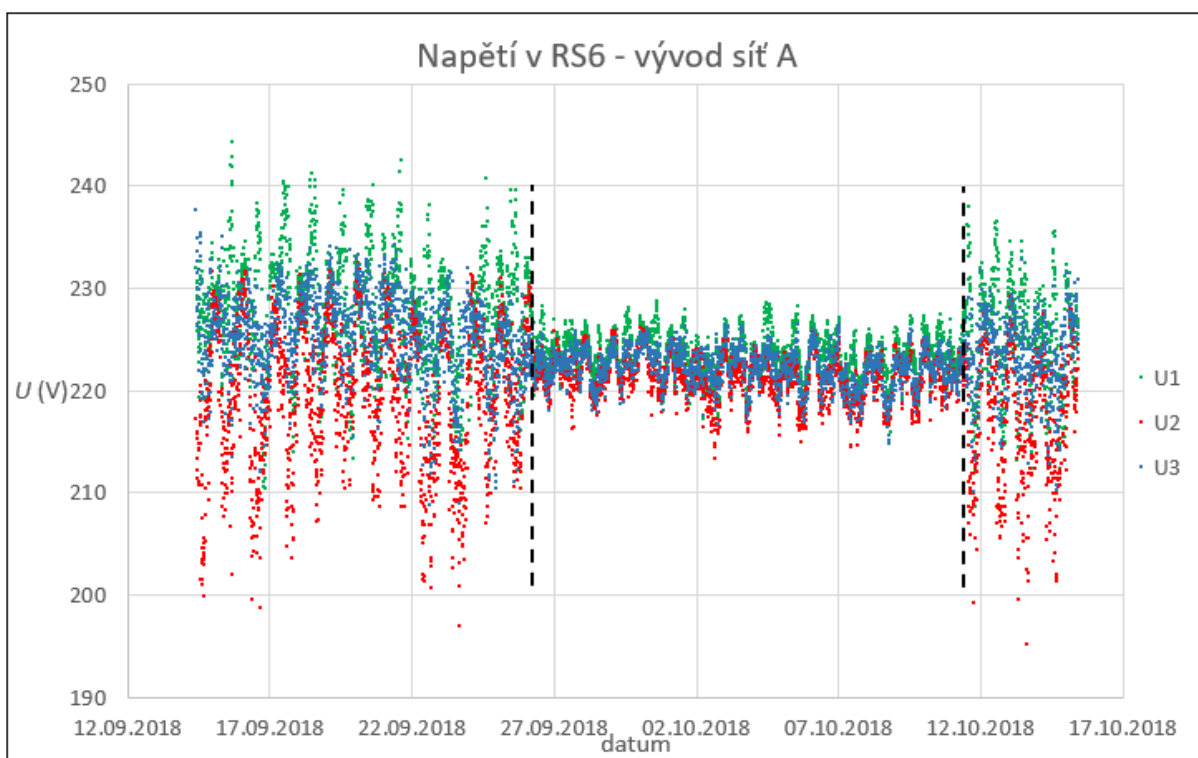
Pozn. Napětí U2 na obrázku 6.9 je sníženo o 2 až 3 volty oproti ostatním napětím. Je to z důvodu poruchy měřicího přístroje, který byl po tomto měření odeslán do servisu na opravu.



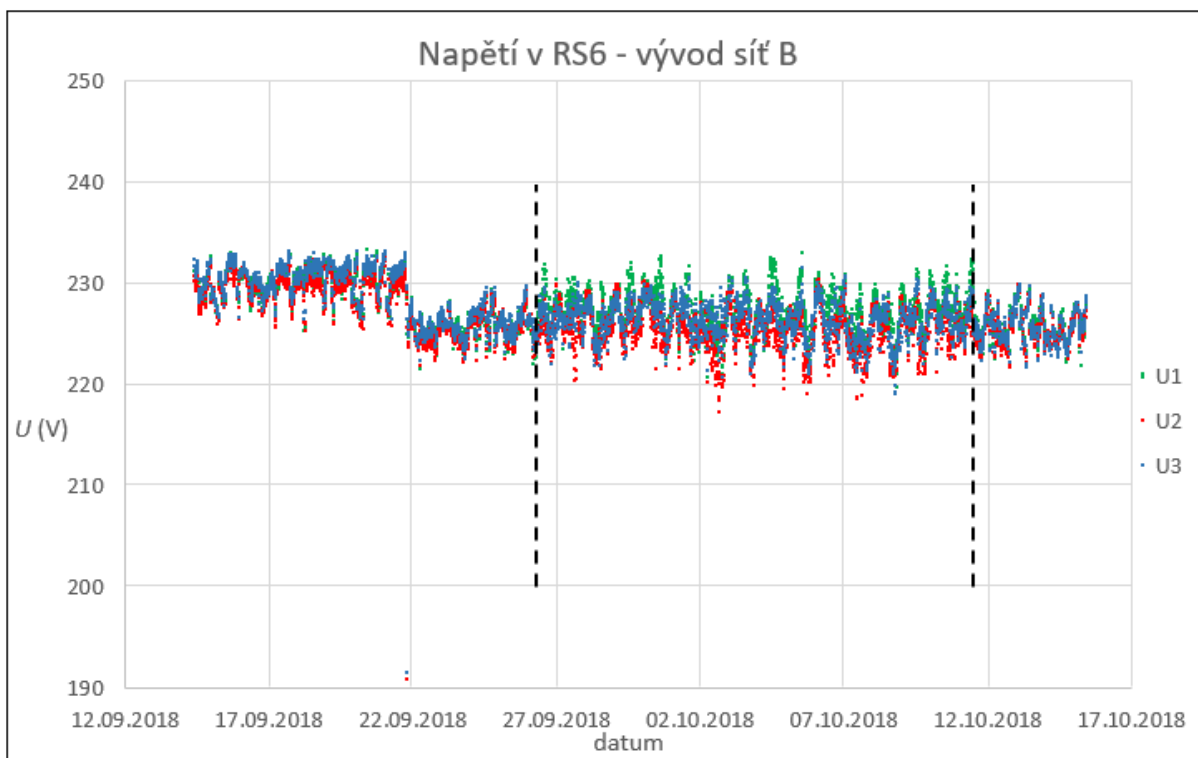
Obrázek 6.9 - napětí na distribučním transformátoru DTS1



Obrázek 6.10 - napětí na distribučním transformátoru DTS2



Obrázek 6.11 - napětí v místě propojení – vývod síť A



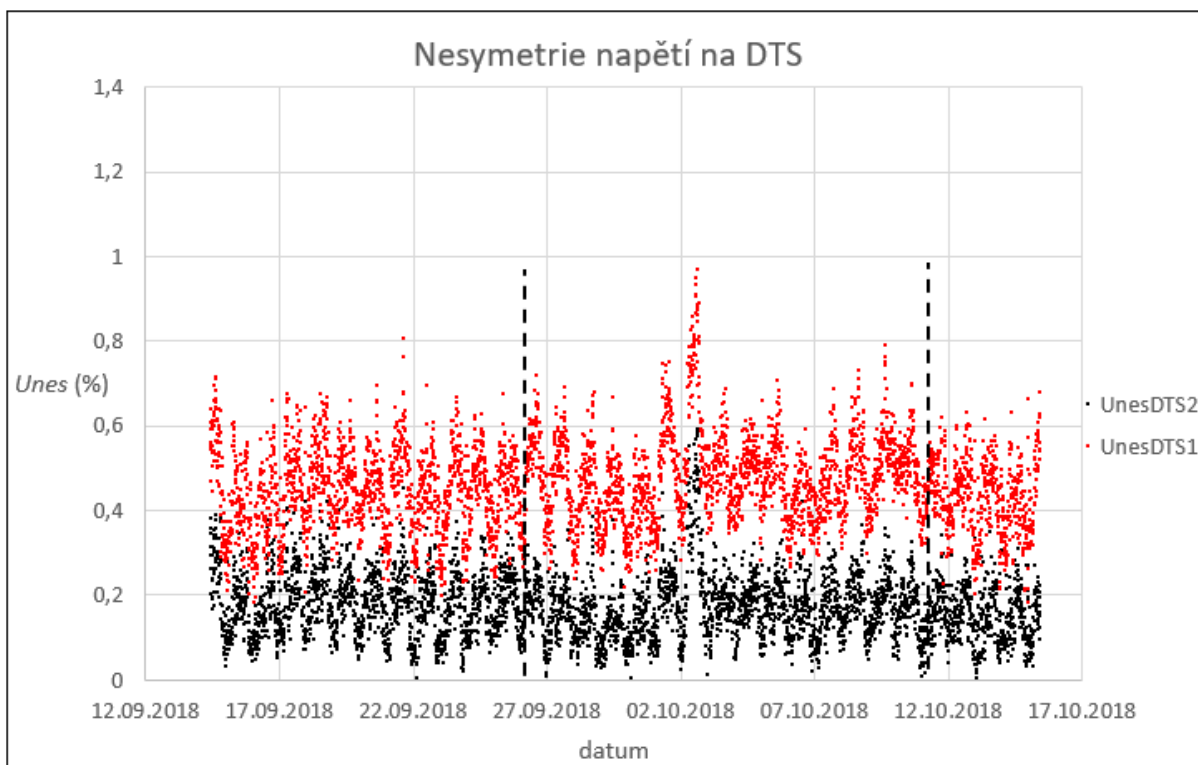
Obrázek 6.12 - napětí v místě propojení – vývod síť B

Z obrázku 6.11 lze vidět, že síť napájena z distribučního transformátoru DTS1 (sít' A) měla před propojením větší výkyvy napětí. Po paralelním spojení se toto napětí viditelně ustálilo. Z pohledu druhé sítě došlo k mírnému zhoršení. Na obou grafech (obrázek 6.11 a 6.12) je shodné měřítko na ose Y. Díky tomu lze vidět, že došlo k mnohem většímu zlepšení, než ke zhoršení sítě druhé. Z toho vyplývá, že z pohledu napětí se paralelní spojení těchto dvou sítí vyplatí.

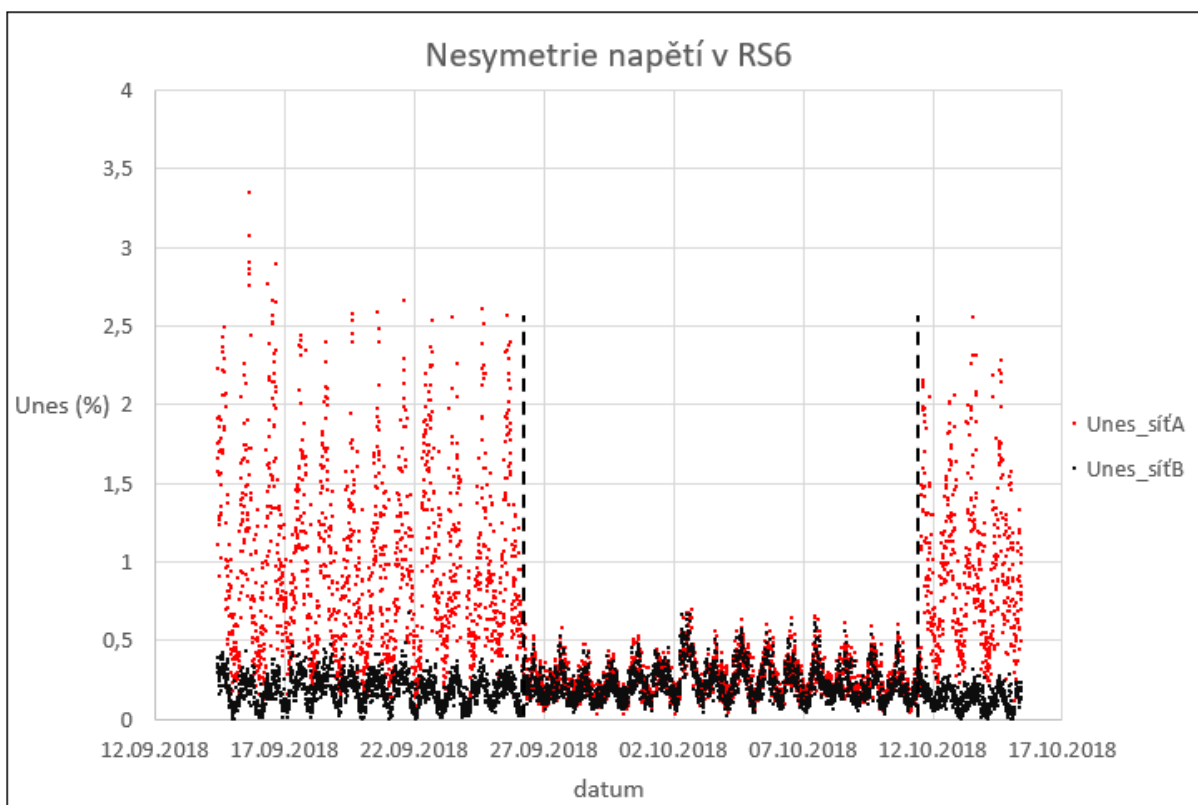
Nesymetrie napětí

S napětím úzce souvisí jeho nesymetrie. Norma byla splněna pro paprskové zapojení i pro paralelní spojení, ale je nutné zkontrolovat, jak se síť po spojení navzájem ovlivnily.

Na obrázku 6.13 je zobrazena nesymetrie na obou distribučních transformátorech. Opět je vidět, že nesymetrie závisí spíše na nesymetrii nadřazené soustavy, protože propojením nedošlo k ovlivnění nesymetrie napětí ani na jednom z transformátorů.



Obrázek 6.13 - nesymetrie napětí na obou distribučních transformátorech DTS1 a DTS2

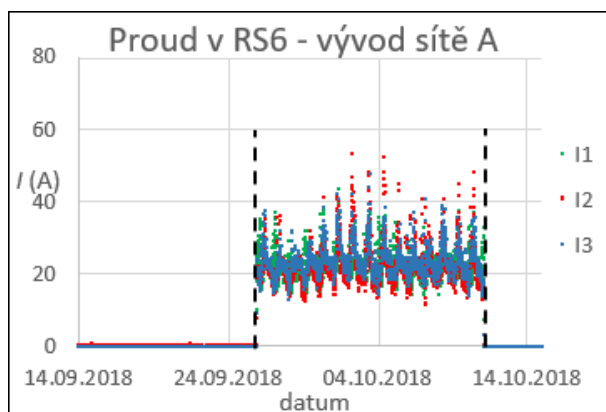


Obrázek 6.14 - nesymetrie napětí v místě spojení

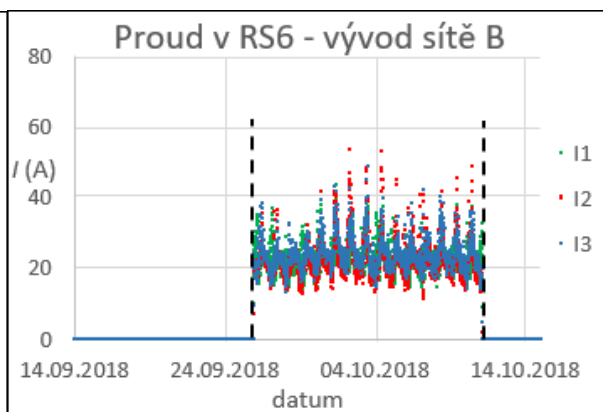
Z obrázku 6.14 lze vidět, že s nesymetrií je to stejně jak s napětím. Paralelní spojení sítí viditelně snížilo nesymetrii napětí v síti A, ale naopak lehce zvýšilo nesymetrii v síti B. Opět je zlepšení mnohem výraznější než zhoršení, a proto se z hlediska nesymetrie vyplatí sítě propojit.

Proud

Další důležitou věcí jsou protékající proudy. Ty by se měly po paralelním propojení rovnoměrně rozdělit na distribuční transformátory.

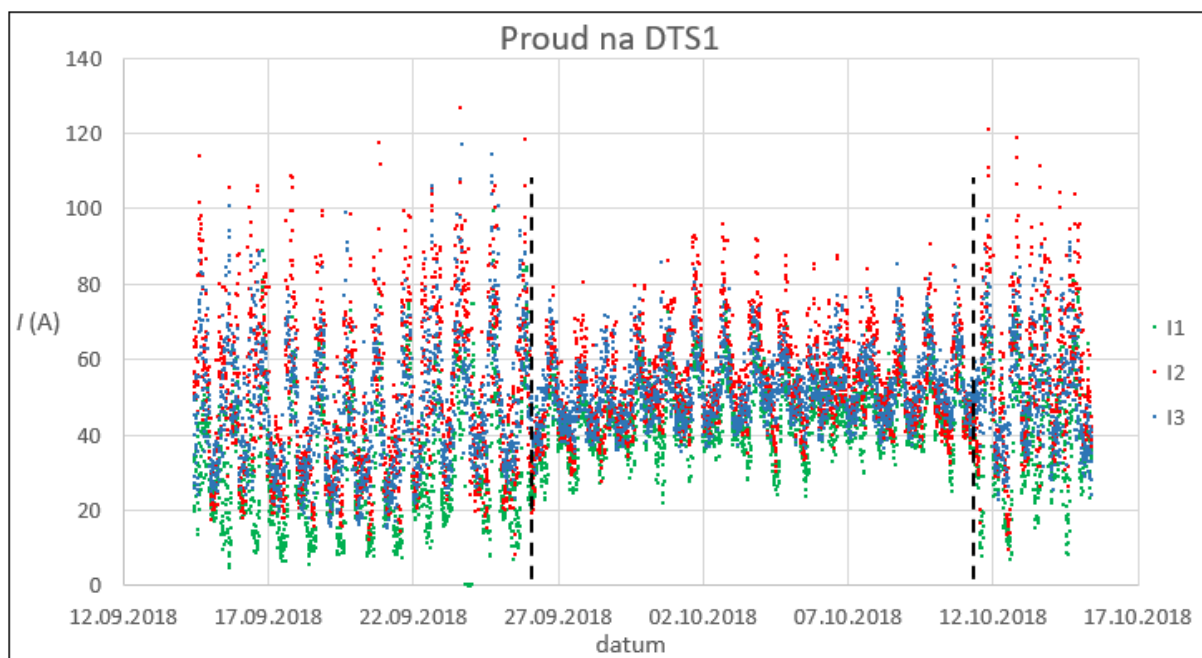


Obrázek 6.16 - proud v místě propojení, vývod do sítě A

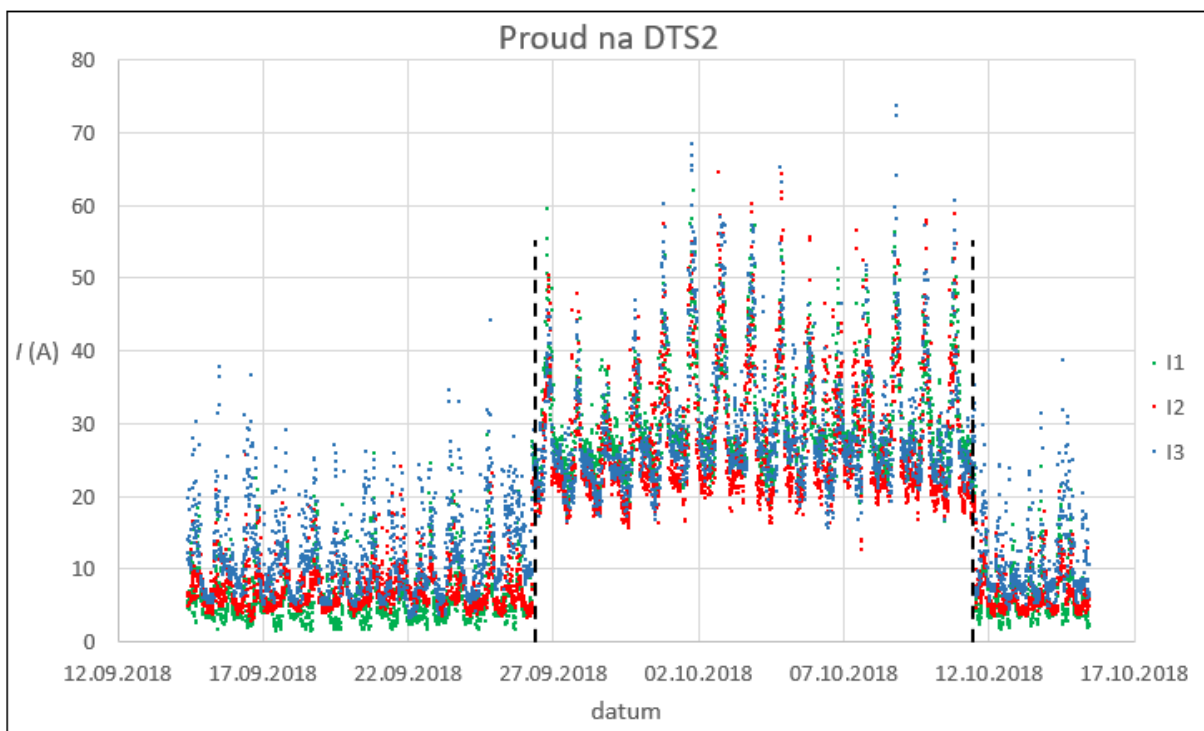


Obrázek 6.15 - proud v místě propojení, vývod do sítě B

Na obrázku 6.15 a 6.16 je měření proudu v místě propojení. Zobrazeny jsou proudy na obě dvě strany vývodů z rozpojovací skříně RS6. Je vidět, že proud protékal jen v době propojení. Při paprskové provozu sítě to ani není možné. Měřena byla absolutní hodnota, v reálném případě by byla jedna měřená hodnota záporná a druhá kladná (přetok proudu z jedné sítě do druhé).



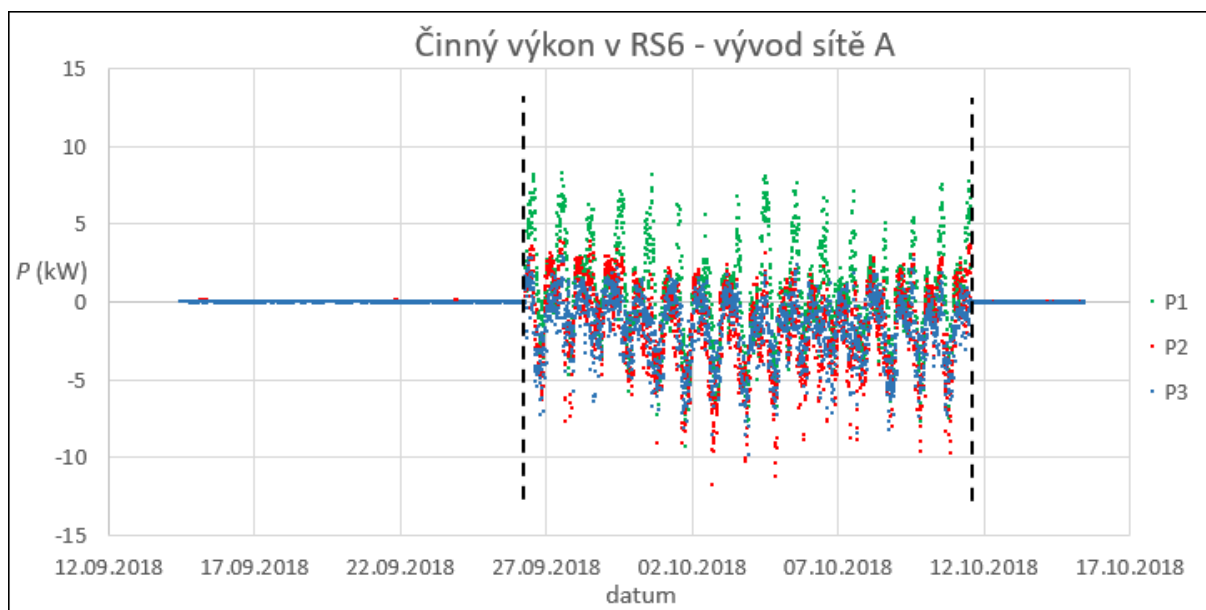
Obrázek 6.17 - proud protékající transformátorem DTS1



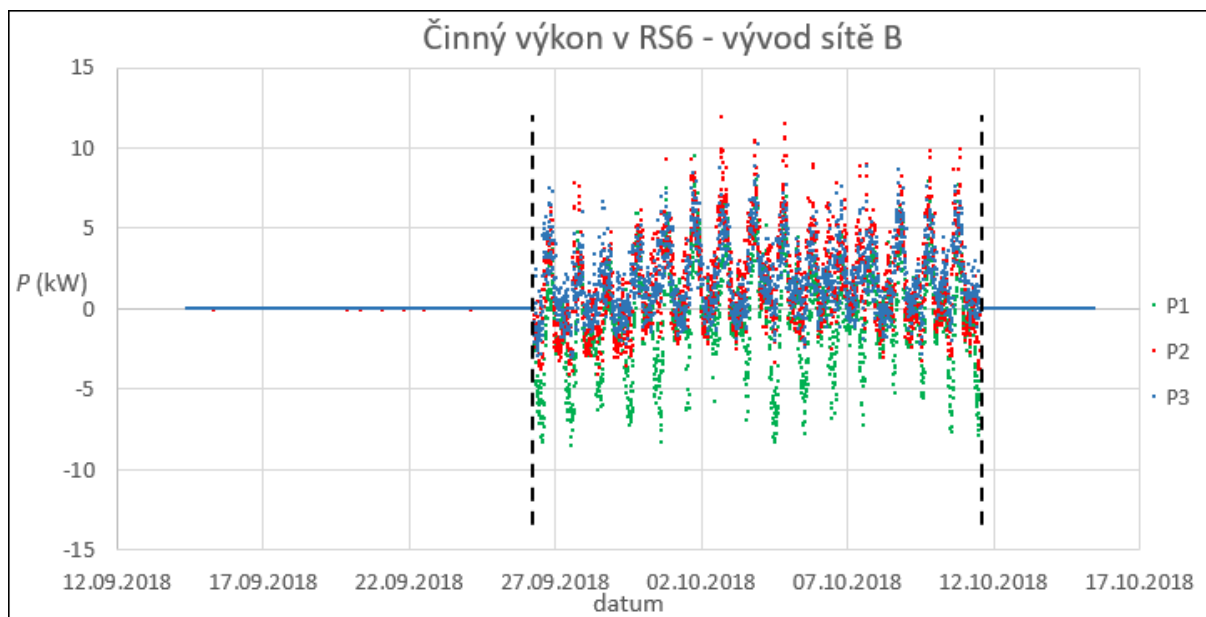
Obrázek 6.18 - proud protékající transformátorem DTS2

Na obrázku 6.17 a 6.18 vidíme toky proudů přes distribuční transformátory DTS1 a DTS2. Bylo očekáváno, že se proudy na transformátorech ustálí podle rovnoměrného rozdělení výkonů na obě DTS. Také by měl součet průměrných hodnot z obou traf být konstantní (stejný před propojením i po propojení). V tomto případě se po propojení proudy na obou transformátorech zvýšily. Grafy ukazují absolutní hodnotu proudu, a proto není jasné, v jakém směru tyto proudy, respektive výkony, tečou.

Činný výkon

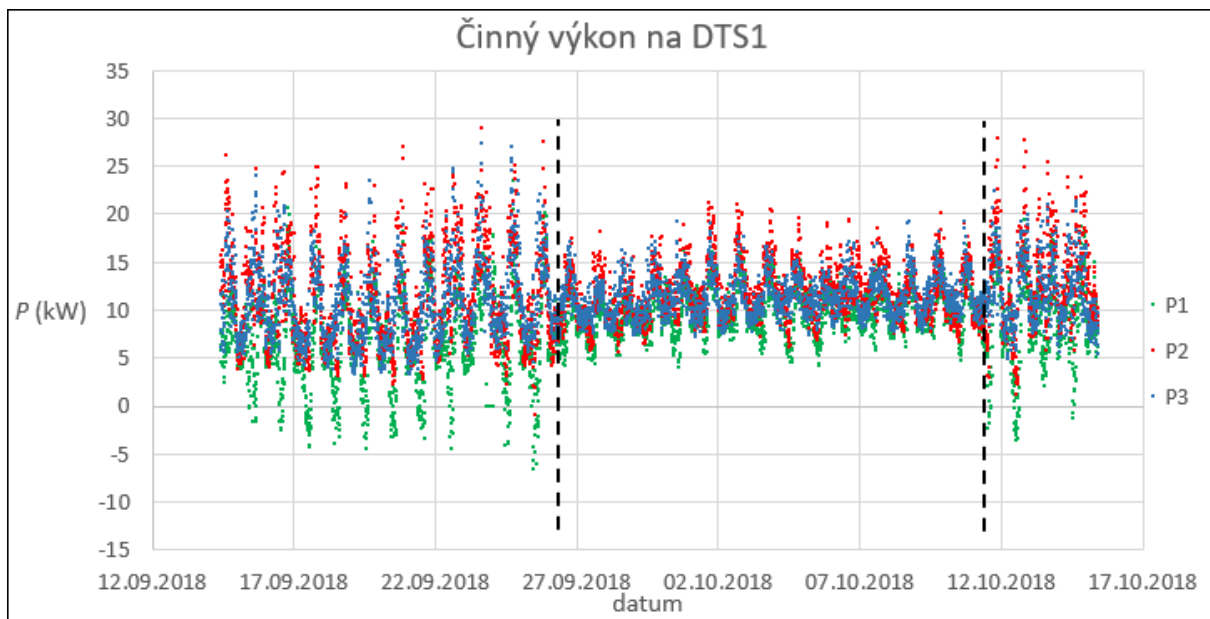


Obrázek 6.19 - tok činného výkonu směrem do sítě A

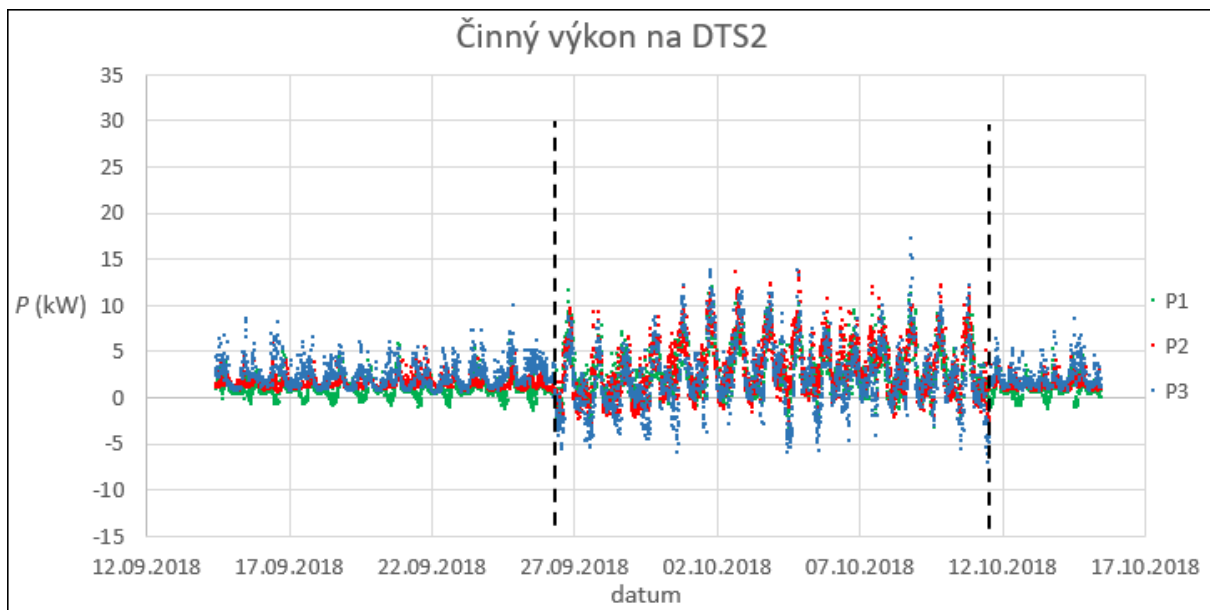


Obrázek 6.20 - tok činného výkonu směrem do sítě B

Na obrázku 6.19 a 6.20 lze vidět, že tok činného výkonu skrz slabou vazbu (propojení) není nijak zvlášť vysoký. Jeho hodnoty nepřesahují 10 kW ve špičkách a jeho průběh má průměrnou hodnotu pohybující se okolo nuly. Zdá se, že činný výkon protékající propojením je pouze na pokrytí nerovnoměrnosti zatížení.



Obrázek 6.21 - činný výkon protékající transformátorem DTS1 směrem do distribuční sítě

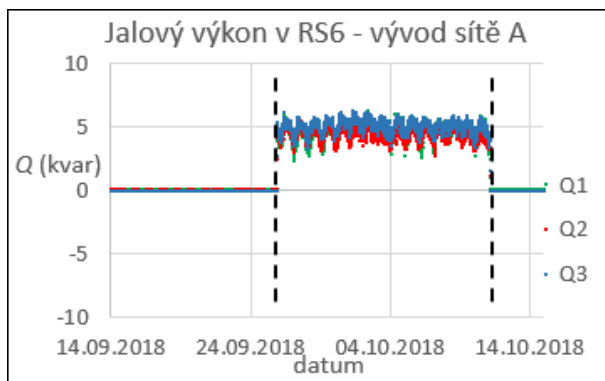


Obrázek 6.22 - činný výkon protékající transformátorem DTS2 směrem do distribuční sítě

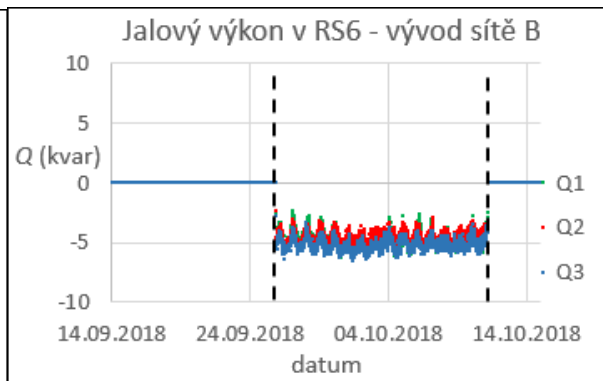
Činný výkon na distribučních transformátorech se dle obrázku 6.21 a 6.22 po propojení pohyboval stejně. Zvýšila-li spotřeba činného výkonu někde v paralelně propojené síti, tak se na pokrytí této změny zatížení podílely oba transformátory. Průměrné toky výkonů přes trať jsou však odlišné. Je to způsobené velikostí jednotlivých sítí, kde síť B napájená distribučním transformátorem DTS2 je o hodně menší než síť A napájená distribučním transformátorem DTS1. Další podmínkou rozdělení výkonů na transformátory závisí na impedanci sítě. Z grafu lze také vidět, že činný výkon přenášený přes transformátor je v určitých časových intervalech v záporných číslech. V obou sítích jsou připojené

fotovoltaické elektrárny, takže to znamená, že když vyrobily dostatek energie pro vlastní spotřebu sítě, tak nadbytečný výkon tekł přes transformátor do nadřazené soustavy.

Jalový výkon

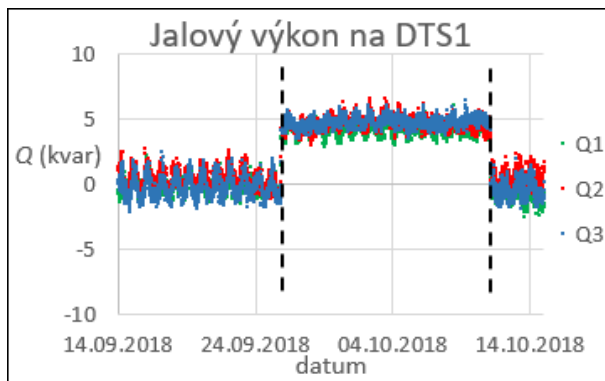


Obrázek 6.24 - tok jalového výkonu v místě propojení sítě, vývod do sítě A

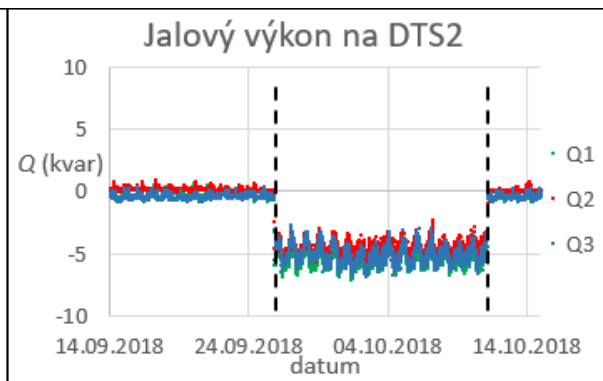


Obrázek 6.23 - tok jalového výkonu v místě propojení sítě, vývod do sítě B

V místě propojení sítě je patrné z obrázku 6.23 a 6.24, že zde dochází k přetoku jalového výkonu mezi sítěmi. Hodnota přenášeného jalového výkonu je okolo 5 kvar každou fází, dohromady tedy okolo 15 kvar.



Obrázek 6.25 - tok jalového výkonu na transformátoru DTS1



Obrázek 6.26 - tok jalového výkonu na transformátoru DTS2

Také na distribučních transformátorech DTS1 a DTS2 pozorujeme podle obrázku 6.25 a 6.26, že dochází k přetoku jalového výkonu.

Propojením této sítě dochází k přetoku jalového proudu, respektive výkonu, mezi nadřazenými soustavami. Tímto přetékáním jalové energie mezi sítěmi vysokého napětí přes distribuční síť s napětím 0,4 kV dochází k většímu a zbytečnému zatěžování vodičů. K takovým přetokům dochází v případě, že sítě vn, které jsou propojeny přes síť nn, nemají shodné napětí nebo fázové posuny napětí. Ačkoliv se z hlediska napětí sítě propojit vyplatilo, z tohoto hlediska je to nevyhovující.

Na mapě níže na obrázku 6.27 je vyznačeno, kde se nachází DTS1 a DTS2. Červenou barvou jsou vyznačeny sítě vn s napětím 22 kV. Při podrobnějším prozkoumání místa v oblasti, kde se nacházejí tyto transformátory bylo zjištěno, že zde není vn síť propojena a každé z těchto dvou DTS je napájeno

A map of the northern part of the Tigris River basin. The river is shown as a blue line winding through the landscape. Red dashed lines represent administrative boundaries or roads. Several locations are marked with colored boxes and circles containing labels: 'TR' (Tigris River) in a yellow circle at the top left; 'SP' (Samarra) in a blue box at the top center; 'DTS1' (Dihana Tigris Station) in a blue box on the right; 'DTS2' (Dihana Tigris Station) in a yellow box below DTS1; 'TS' (Tigris Station) in a red circle between DTS1 and DTS2; and another 'TR' in a blue circle at the bottom right. A green dashed line labeled '3x2-40 AIFe6' runs diagonally across the map. Black arrows point up and down from the TS area.

67

6.2 Sít' 2

Jedná se o sít', která se nachází na vesnici. Je tvořena opět dvěma paprskovými sítěmi, které se paralelně propojily. Každý ze dvou paprsků je napájen distribučním transformátorem. Označil jsem dané sítě jako sít' C a sít' D. Sít' C je na obrázku 6.28 vykreslena zelenou barvou a je napájena distribučním transformátorem označeným jako DTS3 o zdánlivém výkonu 160 kVA. Sít' D má barvu červenou a je napájena z DTS4 o zdánlivém výkonu 400 kVA.

Sít' C

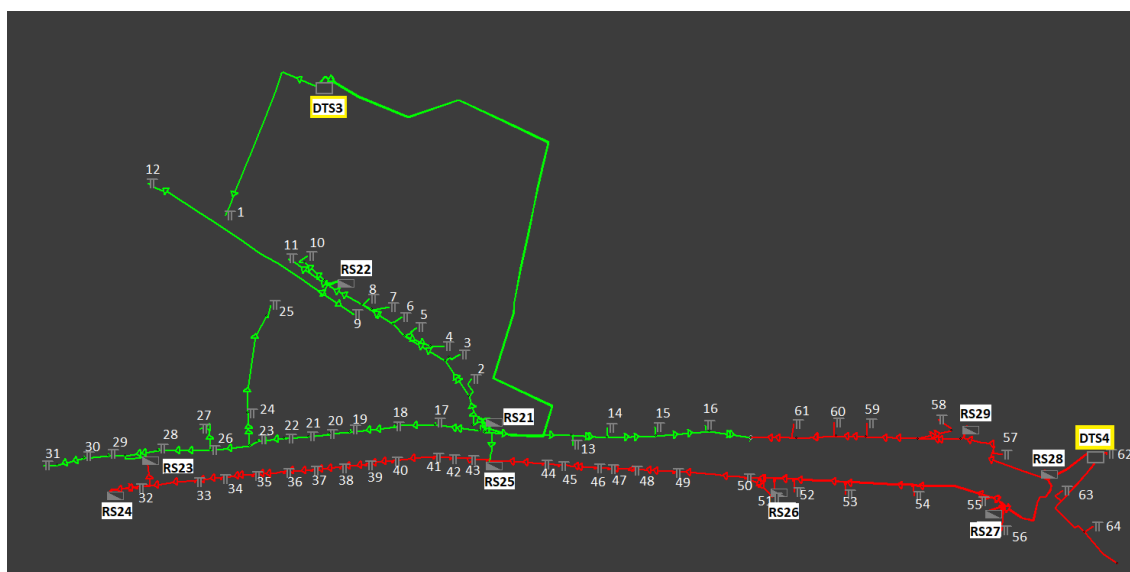
Sít' je napájena transformátorem, který je z geografického hlediska umístěn mírně mimo oblast této sítě. Z trať vedou dva vývody směrem do rozpojovací skříně RS21. Jsou tvořeny dvojicí kabelů AYKY o průřezu 120 mm^2 s délkou 462 metrů. Třetím vývodem transformátoru je kabel AYKY 240 mm^2 o délce 136 metrů, který vede přímo k odběru. Tato sít' je tvořena jak kabely, tak AlFe lany. Z rozpojovací skříně jsou 3 vývody. Jeden je do RS22 tvořený AlFe 42/7, druhý je směrem do místa propojení sítí RS23 tvořený z AlFe 50, který je cca po 165 metrech snížený na AlFe 42/7. Třetí vývod je tvořen AlFe 50 mm^2 o délce cca 190 metrů.

Sít' D

Sít' je napájena z distribučního transformátoru DTS4. Z něho je vyvedeno celkem 5 vývodů. Dva z nich jsou do rozpojovacích skříní RS27 a RS28 tvořeny kabely AYKY 240 mm^2 . Zbylé 3 jsou vyvedeny přímo k odběrům. Tato sít' je z větší části tvořena kabelovým rozvodem. Mezi DTS4 a RS23 (místo propojení se sítí C) je pouze kabel (nejprve AYKY 240 mm^2 snížený na AYKY 120 mm^2).

6.2.1 Modelace sítě 2 v programu Daisy Bizon Projektant

Stejně jako v případě sítě 1, je i zde provedena modelace sítě a simulován ustálený chod sítě. Tím zjistíme napětí na koncích sítě (nejvzdálenější místa od DTS), kde dochází k největším úbytkům napětí.



Obrázek 6.28 - sít' 2 s vyznačenými odběry, rozpojovacími skříněmi a DTS

Na obrázku 6.28 je celá síť 2. Tvoří ji dvě paprskové sítě C a D. Nejprve je nutné zjistit, jaké napětí v rozpojeném stavu bude na koncích sítí.

V této síti je důležité ověřit odběratele, kteří jsou nejvíce vzdáleni od napájecího transformátoru a dochází u nich k nejvyššímu úbytku napětí.

Tabulka 6.5 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 2 - rozpojený stav

sítě C		sítě D	
odběr č.	napětí (V)	odběr č.	napětí (V)
1	227	32	227
9	218	33	227
11	218	60	229
12	218	61	228
16	219	64	230
25	214		
28	213		
31	212		

Z tabulky 6.5 je vidět, že jsou opět v jedné síti větší úbytky napětí (v síti C). Jelikož je síť D z větší části kabelová, nedochází zde k tak velkým úbytkům napětí. Pokud srovnáme odběr č. 28 a 32, které jsou blízko sebe, ale každý je napájen z jiného DTS, tak vidíme, že při rozpojeném stavu je v síti C úbytek 10 voltů větší než v síti D. Při porovnání vzdáleností jsou cca stejné. Hlavním faktorem zvýšeného úbytku napětí je typ vodiče.

Při paralelním spojení sítí C a D v rozpojovací skřini RS23 očekáváme, že se napětí v odběrech na vývodu RS23 směrem do sítě C zvětší a nebude v těchto místech tak velký úbytek napětí.

Tabulka 6.6 - vybrané odběry a jejich napětí v síti 2 - propojený stav

sítě C		sítě D	
odběr č.	napětí (V)	odběr č.	napětí (V)
1	227	32	223
9	222	33	223
11	222	60	228
12	222	61	224
16	223	64	230
25	222		
28	222		
31	222		

Při srovnání hodnot z tabulky 6.5 a 6.6 je vidět, že na odběr 1 nemá propojení vůbec žádný vliv (je na vlastním vývodu z DTS3 a to znamená, že ho propojení nemůže nijak ovlivnit). Na ostatní odběry propojení vliv mělo. Vývod z RS21 směrem na RS22, kde se nachází odběry č. 9, 11, 12, zaznamenal

mírné zlepšení úbytku napětí o cca 4 volty. To samé vývod do větve k odběru č. 16. Odběry č. 25, 28 a 31 jsou na tom po propojení mnohem lépe. U odběru 31 je napětí zvýšeno dokonce o 10 voltů. Kdežto napětí v druhé síti (sít' D) se po propojení snížilo pouze o 4 volty (v odběru 32 a 33).

Všechny odběry a jejich napětí v ustáleném chodu při rozpojeném i propojeném stavu a rozdílu napětí způsobené tímto propojením je v příloze A.

Ověření selektivity jištění

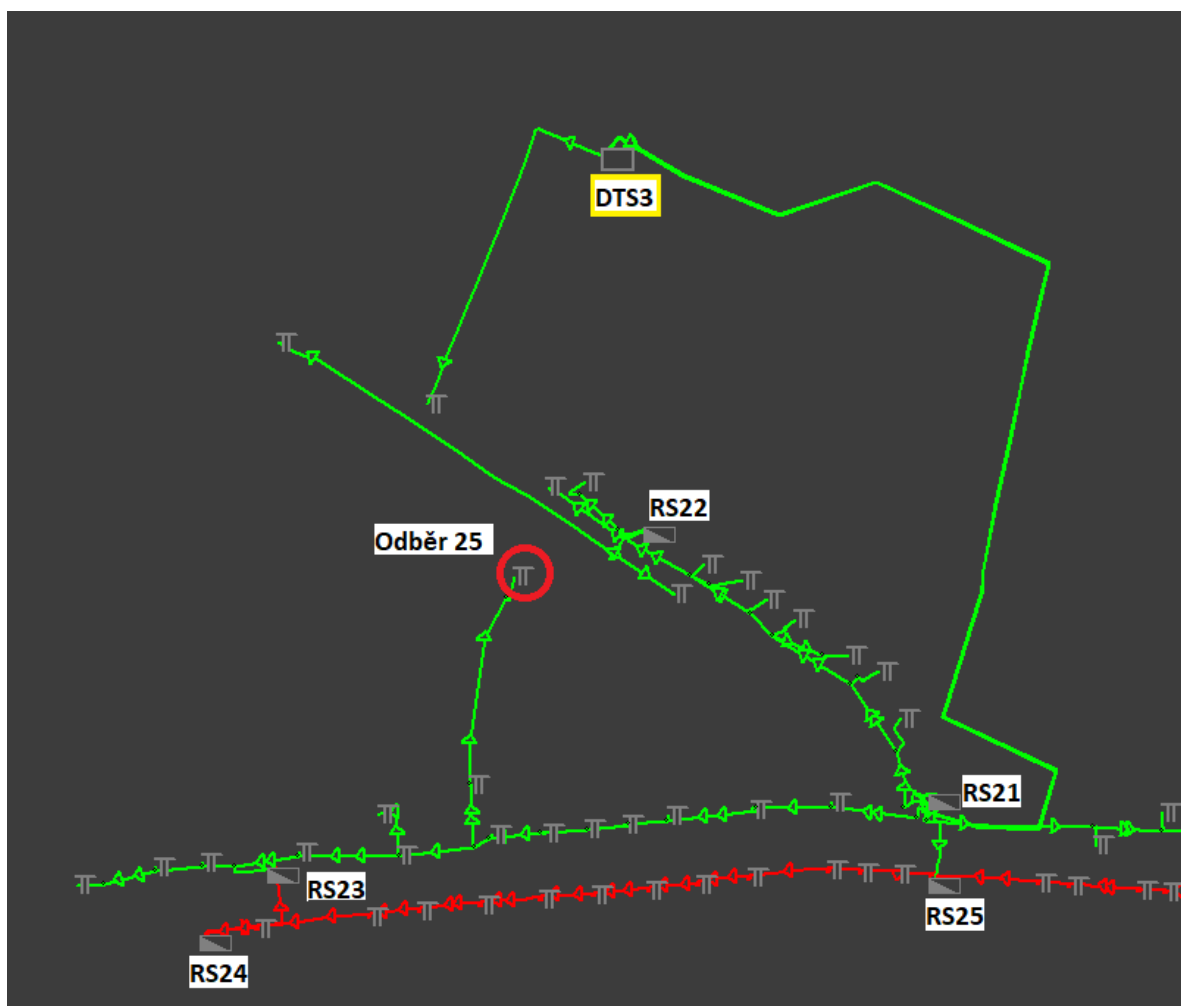
Stejně jako u minulé sítě i zde je dalším krokem ověření selektivity jištění pro rozpojený i propojený stav. Všechny osazené pojistky jsou v tabulce 6.7. Je nutné zjistit, jak propojení ovlivnilo hodnoty poruchových proudů a také navrhnout pojistku slabé vazby v RS23.

Opět pomocí simulace ověříme vypínací časy všech odběrů v síti.

Tabulka 6.7 - pojistky v rozpojovacích skříních sítě 2

Rozpojovací skříň	Typ pojistky	Vývod	Jmenovitý proud I_n (A)
RS21	PN2gG 125	větev	125
	PN2gG 125	RS23	125
	PN2gG 125	RS22	125
	PN2gG 200	DTS3	200
	PN2gG 200	DTS3	200
RS2	PN2gG 200	odběr	200
	PN2gG 160	odběr	160
	PN2gG 63	odběr	63
	PN2gG 225	RS21	225
RS23	PN2gG 160	RS24	160
	PN2gG 50	odběr	50
RS24	PN2gG 160	RS23	160
	PN2gG 160	RS25	160
RS25	PN2gG 200	RS24	200
	PN2gG 160	RS26	160
RS26	PN2gG 160	RS27	160
	PN2gG 160	RS27	160
RS27	PN2gG 80	odběr	80
	PN2gG 200	DTS4	200
	PN2gG 200	RS26	200
	PN2gG 200	RS26	200
RS28	PN2gG 200	RS29	200
	PN2gG 200	RS27	200
	PN2gG 225	DTS4	225
RS29	PN2gG 160	větev	160
	PN2gG 225	RS28	225

Rozpojeno



Obrázek 6.29 - vyznačení včasne neodpojených odběrů v síti 2 v rozpojeném stavu

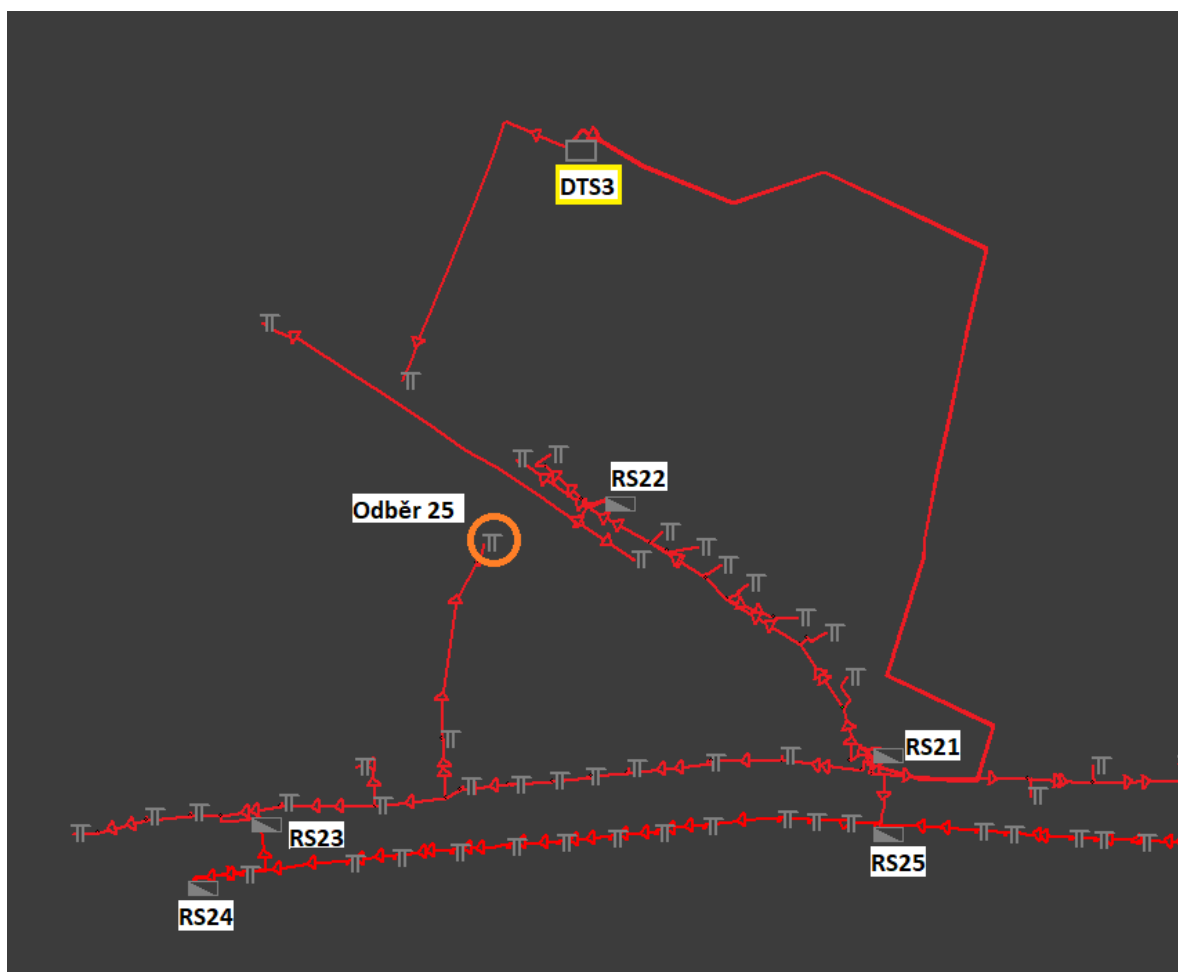
Na obrázku 6.29 je vyznačen odběr, který nevyhovuje svým vypínacím časem při poruše. Při zachování původního jištění sítě je tento odběr vypnut až po čase 70 sekund. Je tedy nutné upravit pojistky v rozpojovací skříni RS21. Všechny ostatní odběry v síti 2 (C i D) jsou vypnuty v požadovaném čase pod 30 sekund.

V rozpojovací skříni RS21 na vývodu RS23, kde se nachází odběr 25, je aktuálně pojistka PN2gG 125 o jmenovitém vypínacím proudu 125 A. Je nutné tuto pojistku snížit, aby byl odběr 25 při poruše vypnut včas. Vhodným řešením se jeví změnit pojistku na vývodu RS23 na PN2gG 100 o jmenovitém vypínacím proudu 100 A.

Po změně pojistky a následné simulaci je odběr při poruše odpojen za 21 sekund. Změnou pojistky je docíleno snížení vypínacího času.

Další řešením by mohlo být jištění samotného odběru vlastní pojistkou. Jelikož se jedná pouze o jeden odběr, který není odpojen v požadován čase a nachází se na konci vedení, nemuselo by být vhodné snižovat pojistku pro celý vývod, ale naopak jistit jeden samotný odběr. To už záleží na tom, která varianta se vyplatí více.

Propojeno



Obrázek 6.30 - vyznačení včasné neodpojených odběrů v síti 2 v propojeném stavu

V paralelním propojení sítí je opět problém pouze s jedním odběrem (viz obrázek 6.30 odběr 25). Při zachování pojistky v RS21 na hodnotě 125 A a umístění pojistky do RS23 typu PN2gG o různých jmenovitých proudech, jsou vypínací časy následující:

Tabulka 6.8 - vypínací časy odběru 25 při různých pojiskách

Typ pojistky	Vypínací jmenovitý proud I_n (A)	Vypínací čas odběru 25 (s)
PN2gG 80	80	662
PN2gG 63	63	92
PN2gG 50	50	74
PN2gG 40	40	72

Z tabulky 6.8 vyplývá, že snižováním pojistek v RS23 (slabé vazbě) nelze docílit snížení vypínacího času na požadovanou hodnotu. Z logického hlediska, kdybychom do RS23 umístili pojistku, která by se při poruše vybavila za milisekundu, lze síť brát jako v předchozím případě (rozpojenou). V takovém případě trvalo vypnutí 70 sekund. To znamená, že úpravou pojistky pouze ve slabé vazbě se nelze dostat pod vypínací čas 70 sekund.

Dalším krokem je tedy úprava pojistky v RS21. Při změně pojistky v RS21 na 100 A a nastavení pojistky v RS23 na 63 A se při simulaci dostáváme na vypínací čas 43 sekund. To znamená, že je nutné pojistku v RS23 ještě snížit. Při pojistce v RS21 100 A a pojistce v RS23 50 A se po simulaci zastaví vypínací čas na 25 sekundách. V tomto případě je požadavek vypnutí do 30 sekund splněn.

Pokud se však zpětně podíváme, že se musí umístit pojistka do slabé vazby pouze 50 A a také se musí snížit pojistka v RS21 na 100 A, vyplatilo by se v tomto případě jistit samostatně daný odběr a ponechat pojistku v RS21 na 125 A a do slabé vazby (RS23) umístit alespoň pojistku v jmenovitým vypínacím proudem 63 A (všechny ostatní odběry jsou při této kombinaci pojistek vypnuty v požadovaném čase).

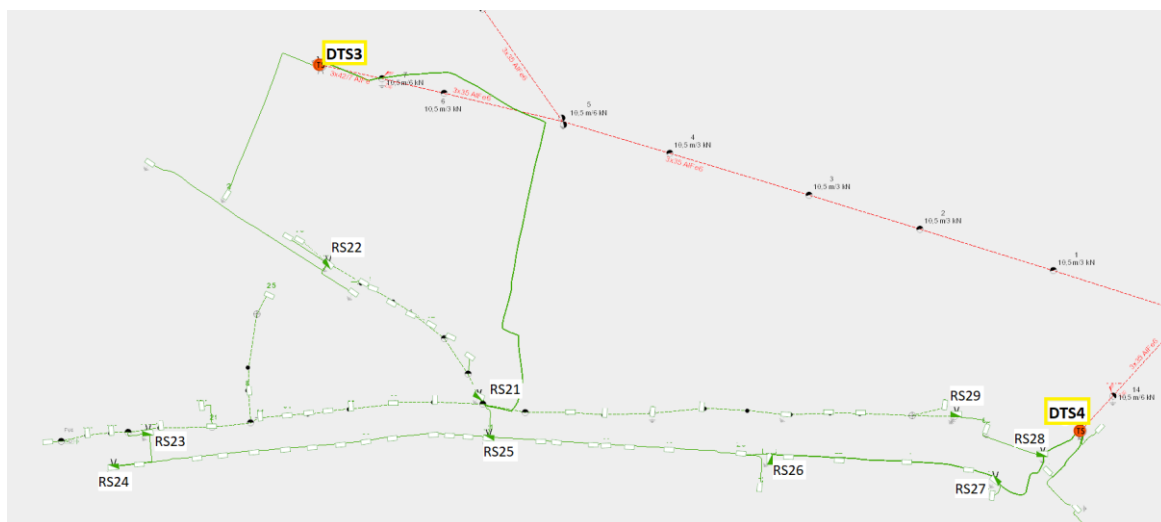
Všechny vypínací časy jsou uvedeny v příloze B (pro varianty rozpojeno/propojeno).

6.2.2 Analýza sítě 2 z naměřených dat

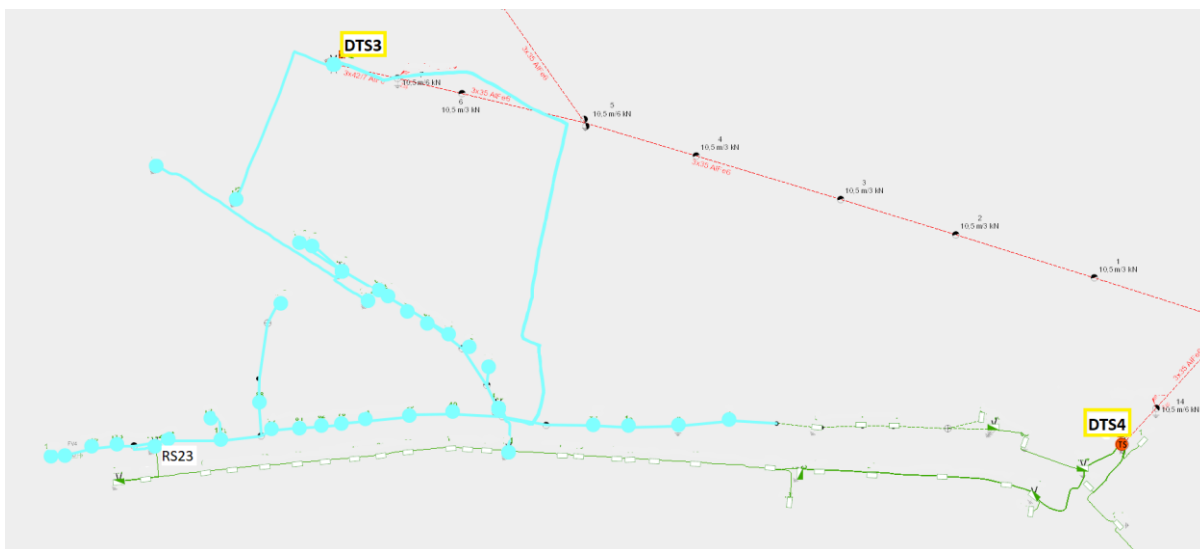
Měření v této síti probíhalo od 15. 8. 2018 do 5. 9. 2018.

Opět bylo propojení měřeno na několika místech sítě. V tomto případě se měřilo na typických místech jako v minulé síti, a to na obou distribučních transformátorech, v místě spojení na vývodech do obou sítí a také v jednom paprsku sítě. První polovinu měření byla síť propojena, druhou polovinu rozpojena. Z těchto období bylo nutné vybrat dva týdenní intervaly, a ty analyzovat.

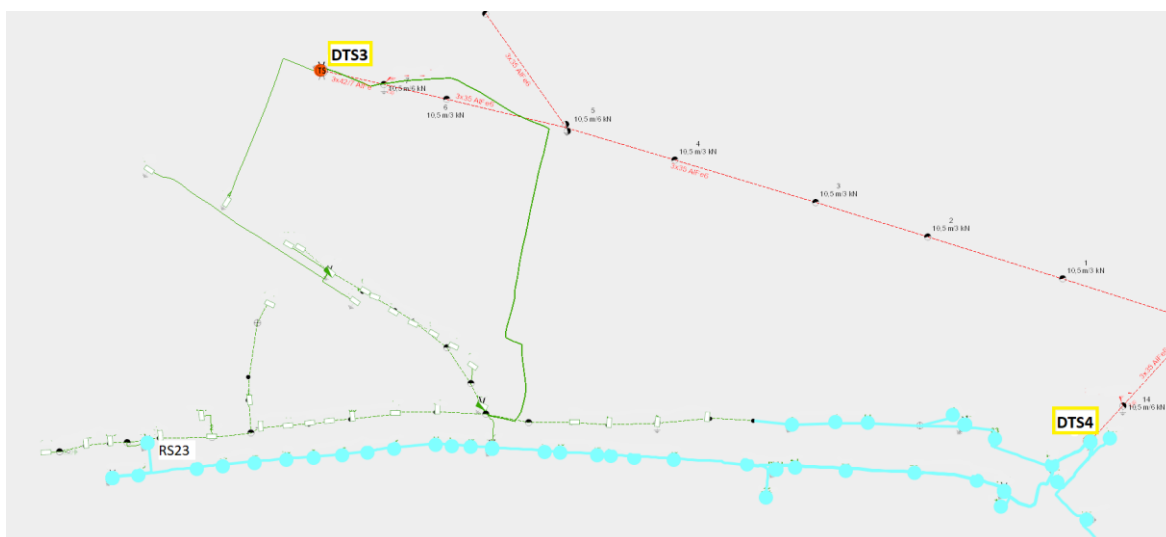
Značení sítí na obrázku 6.31 je stejné jako v předchozím případě. Zelenou barvou jsou vyznačeny sítě nn s napětím 0,4 kV a červenou barvou sítě vn s napětím 22 kV. Na obrázku 6.31 jsou vyznačeny také distribuční transformátory DTS3 a DTS4.



Obrázek 6.31 - mapa celé analyzované sítě 2 s vyznačenými DTS



Obrázek 6.32 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS3



Obrázek 6.33 - mapa distribuční sítě napájené z distribučního transformátoru DTS4

Tyto sítě jsou propojeny v rozpojovací skříni označené na mapě jako RS23. Zde také probíhalo měření, a to na každém ze dvou vývodů do každé sítě. Nachází se zde také pojistka slabé vazby.

Požadavky na kvalitu elektrické energie dle ČSN EN 50160 říkají, že měření musí probíhat v intervalu jednoho týdne (7 po sobě jdoucích dnech). Proto byly vybrány dva týdenní intervaly měření. Jeden při paralelním provozu sítí a druhý interval v rozpojeném paprskovém zapojení.

Pro propojený stav je vyhodnocen týden od 16. 8. 2018 0:00 až do 22. 8. 2018 23:59

Pro rozpojený stav je vyhodnocen týden od 28. 8. 2018 0:00 až do 3. 9. 2018 23:59

Norma udává, že 95 % naměřených hodnot musí splňovat dané kritérium. Proto je v tabulce uveden percentil 5 pro tyto hodnoty. Percentil 5 znamená, že naměřené hodnoty jsou „lepší“ než 5 % všech ostatních hodnot. Laicky řečeno, jsou to poslední hodnoty (srovnané dle velikosti), které musí mít hodnotu dle normy.

Tabulka 6.9 - hodnoty z měření sítě 2 - percentil 5

<i>percentil 5</i>										
	RS23 - vývod RS21		RS23 - vývod RS24		RS22		DTS3		DTS4	
	<i>papr.</i>	<i>prop.</i>	<i>papr.</i>	<i>prop.</i>	<i>papr.</i>	<i>prop.</i>	<i>papr.</i>	<i>prop.</i>	<i>papr.</i>	<i>prop.</i>
<i>U1</i>	239,44	239,72	238,38	239,04	242,04	240,82	241,58	242,86	242,04	243,28
<i>U2</i>	238,46	240,68	241,04	241,26	240,82	238,96	241,82	242,85	242,06	243,41
<i>U3</i>	241,22	241,68	240,06	240,92	240,32	240,12	241,49	242,95	241,86	243,18
<i>Unes</i>	1,27	0,62	0,46	0,53	0,76	0,93	0,19	0,20	0,16	0,17
<i>THDU1</i>	1,71	1,40	1,32	1,40	1,48	1,59	1,40	1,32	1,16	1,13
<i>THDU2</i>	1,63	1,48	1,42	1,48	1,59	1,63	1,28	1,24	1,24	1,16
<i>THDU3</i>	1,75	1,44	1,48	1,44	1,51	1,66	1,32	1,28	1,23	1,16
<i>PLT1</i>	2,21	1,07	0,65	1,06	0,80	1,02	0,29	0,20	0,21	0,17
<i>PLT2</i>	1,16	0,84	0,81	0,84	0,88	1,06	0,22	0,21	0,28	0,19
<i>PLT3</i>	1,15	0,56	0,51	0,56	0,84	1,12	0,18	0,21	0,17	0,17
<i>PST1</i>	2,31	1,17	0,65	1,16	0,68	0,94	0,20	0,20	0,16	0,17
<i>PST2</i>	1,24	0,69	0,90	0,69	0,73	0,97	0,19	0,17	0,19	0,19
<i>PST3</i>	1,30	0,62	0,53	0,62	0,76	1,13	0,17	0,14	0,13	0,13
<i>I1</i>	0,01	1,72	0,42	3,09	0,51	0,46	6,26	6,42	11,14	13,82
<i>I2</i>	0,03	1,76	0,09	2,40	0,95	0,93	7,52	7,99	5,45	7,39
<i>I3</i>	0,03	1,61	0,26	1,38	0,69	0,62	7,99	6,95	6,00	10,05

kde

U_x je fázové napětí ve voltech.

Unes je nesymetrie napětí v %.

THDU_x je zkreslení napětí v %.

PLT_x je dlouhodobá míra vjemu flikru.

PST_x je krátkodobá míra vjemu flikru.

I_x je proud v ampérech.

Měření probíhalo v každé fázi a „x“ označuje číslo fáze.

Hodnoty splňující normu jsou označeny zeleně. Červeně jsou znázorněny hodnoty, které normu nesplňují.

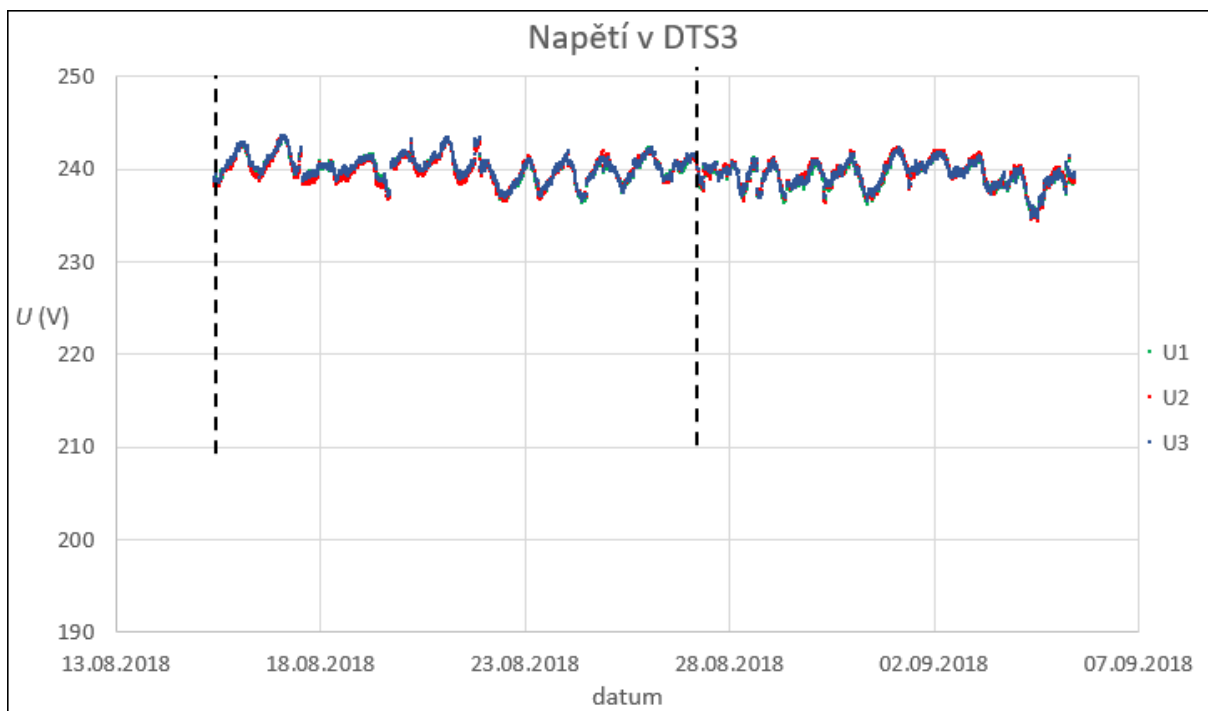
6.2.3 Porovnání propojené a rozpojené sítě 2

Analýza ukázala, že v případě této sítě není úplně všude splněn požadavek na dlouhodobou míru vjemu flikru. Ten se propojením rozšířil i do větve, kde se nachází RS22, a zvedl zde hodnoty nad předepsanou hodnotu. Co se týče ostatních měřených veličin, jsou všechny v normě.

Nyní je potřeba zjistit, jaký vliv mělo propojení na tyto měřené charakteristiky, zda došlo ke zlepšení nebo zhoršení.

Napětí

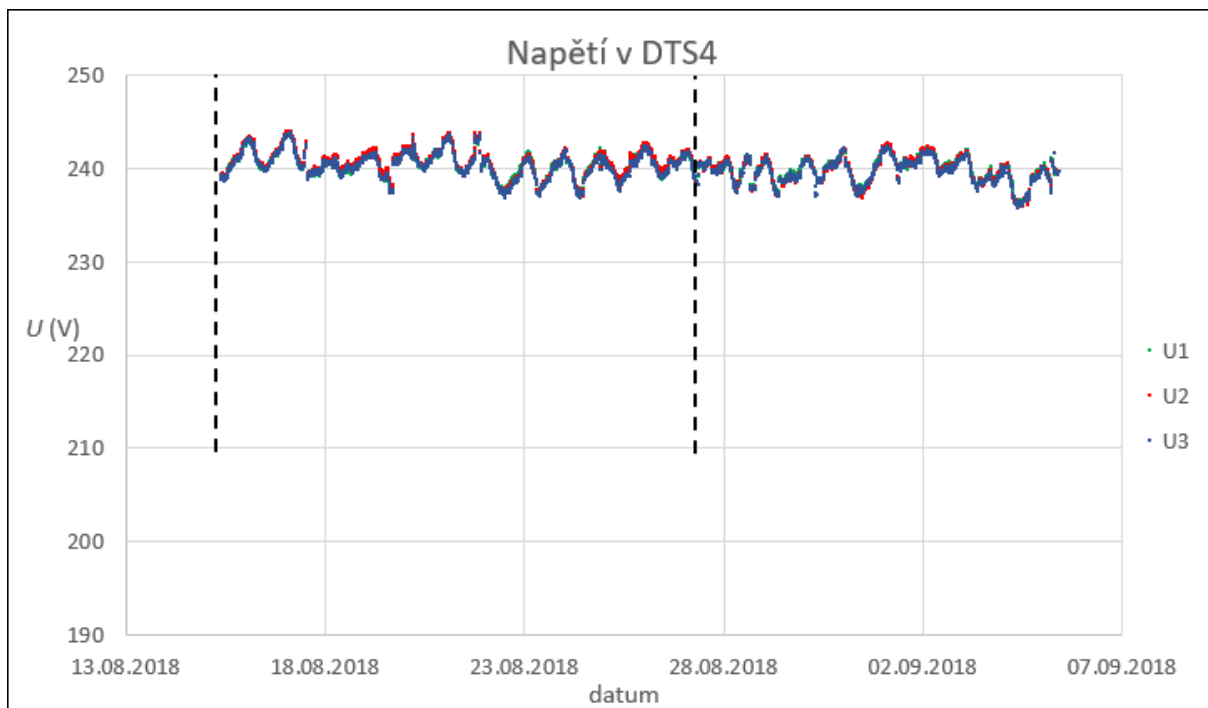
Srovnání napětí je prvním krokem k porovnání, jestli se paralelní spojení těchto dvou sítí vyplatí.



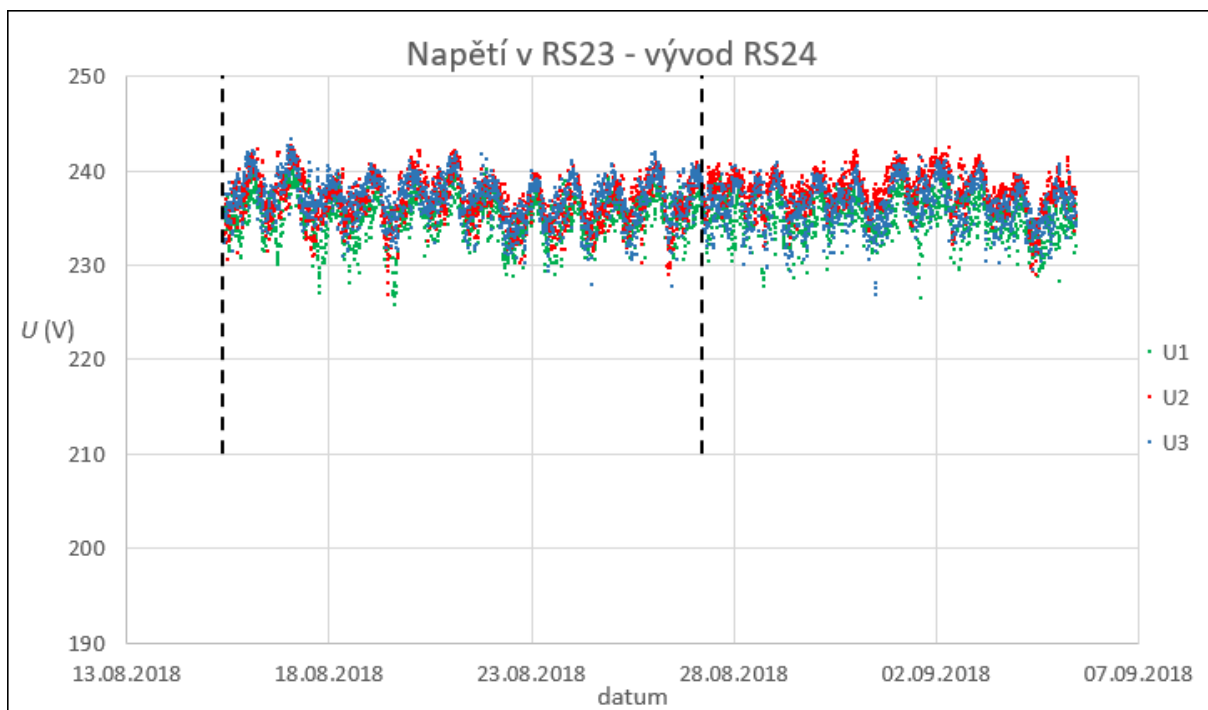
Obrázek 6.34 – napětí na distribučním transformátoru DTS3

Na obrázku 6.34 a 6.35 jsou zobrazena napětí na distribučních transformátorech DTS3 a DTS4. Jelikož jsou obě DTS napájeny ze stejné vn sítě a jsou geograficky relativně blízko u sebe, jsou průběhy na obou transformátorech velmi podobné. Oproti minulé síti jsou v tomto případě menší rozdíly v napětí mezi jednotlivými fázemi a v grafech se jejich průběhy překrývají.

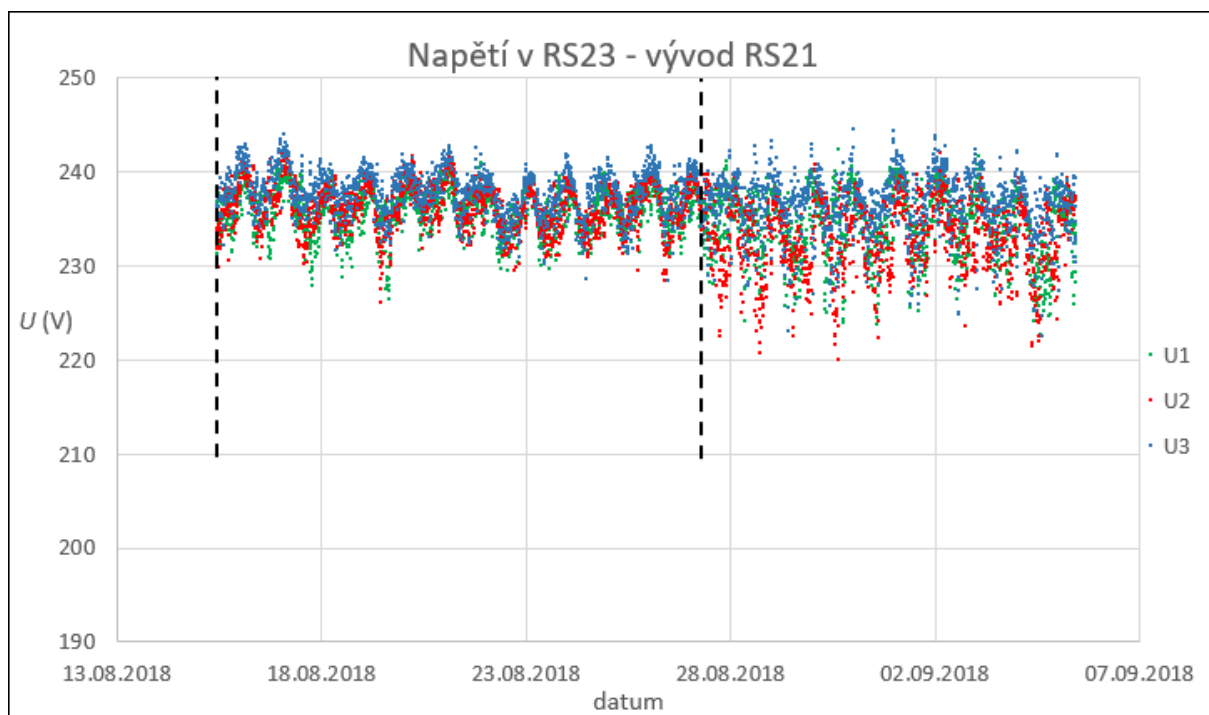
Svislé čárkované čáry vymezují interval paralelního spojení sítí. Na tvaru napětí na DTS nemá paralelní spojení žádný viditelný vliv. Napětí je ovlivňováno spíše z vn strany transformátoru.



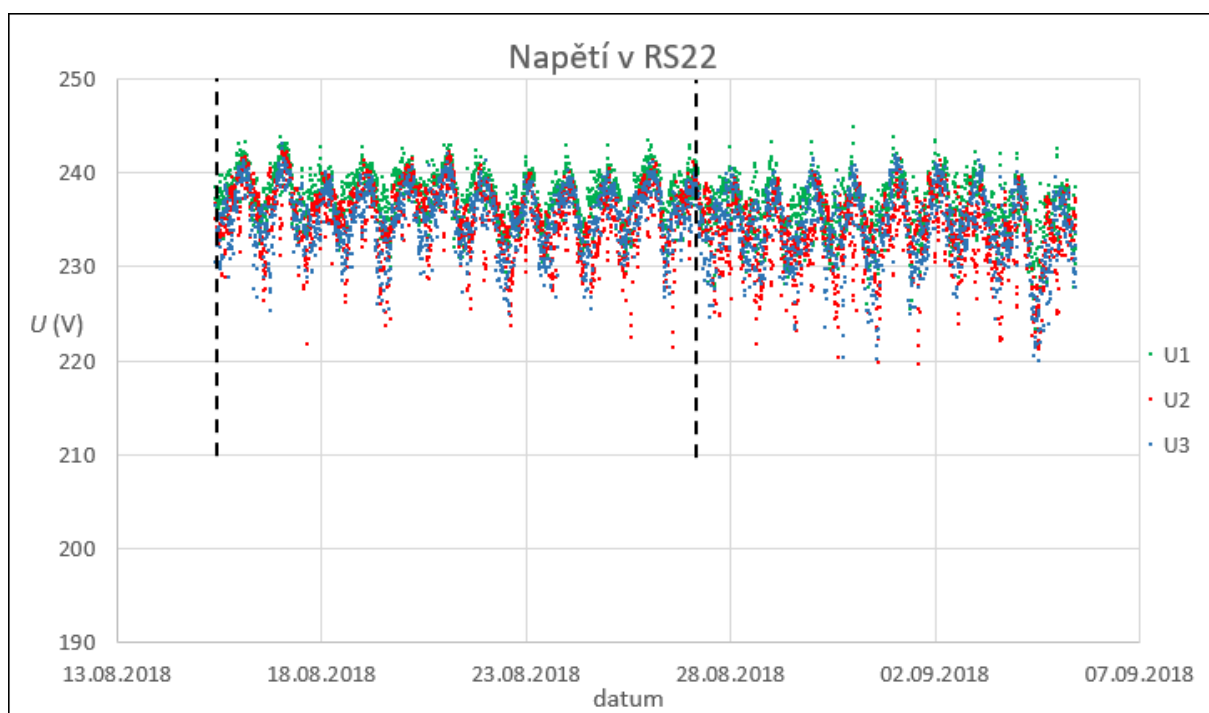
Obrázek 6.35 - napětí na distribučním transformátoru DTS4



Obrázek 6.36 - napětí v rozpojovací skříni RS23 vývod RS24



Obrázek 6.37 - napětí v rozpojovací skříni RS23 vývod RS21



Obrázek 6.38 - napětí v rozpojovací skříni RS22

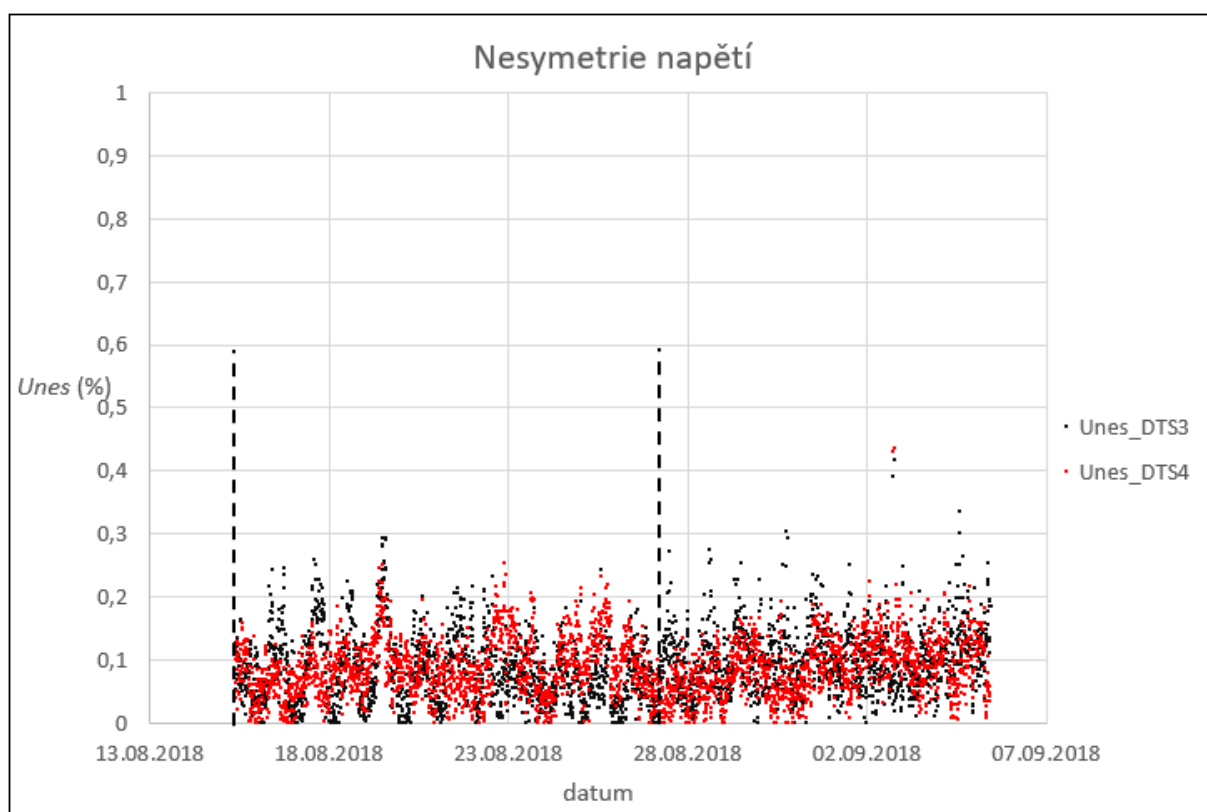
Na obrázku 6.36 a 6.37 jsou zobrazena napětí v místě spojení sítí. Na vývodu RS21 do sítě napájenou DTS3 je jasné vidět, že po rozpojení došlo ke znatelnému zhoršení. V paralelním propojení bylo napětí mnohem více ustálené než v rozpojeném stavu. Na druhém vývodu RS24 do sítě napájené DTS4 nepozorujeme žádné viditelné změny.

Měření v rozpojovací skříni RS22 ukazuje dle obrázku 6.38, že v této větvi mělo propojení také pozitivní účinky. V době rozpojení zde došlo k malému zhoršení.

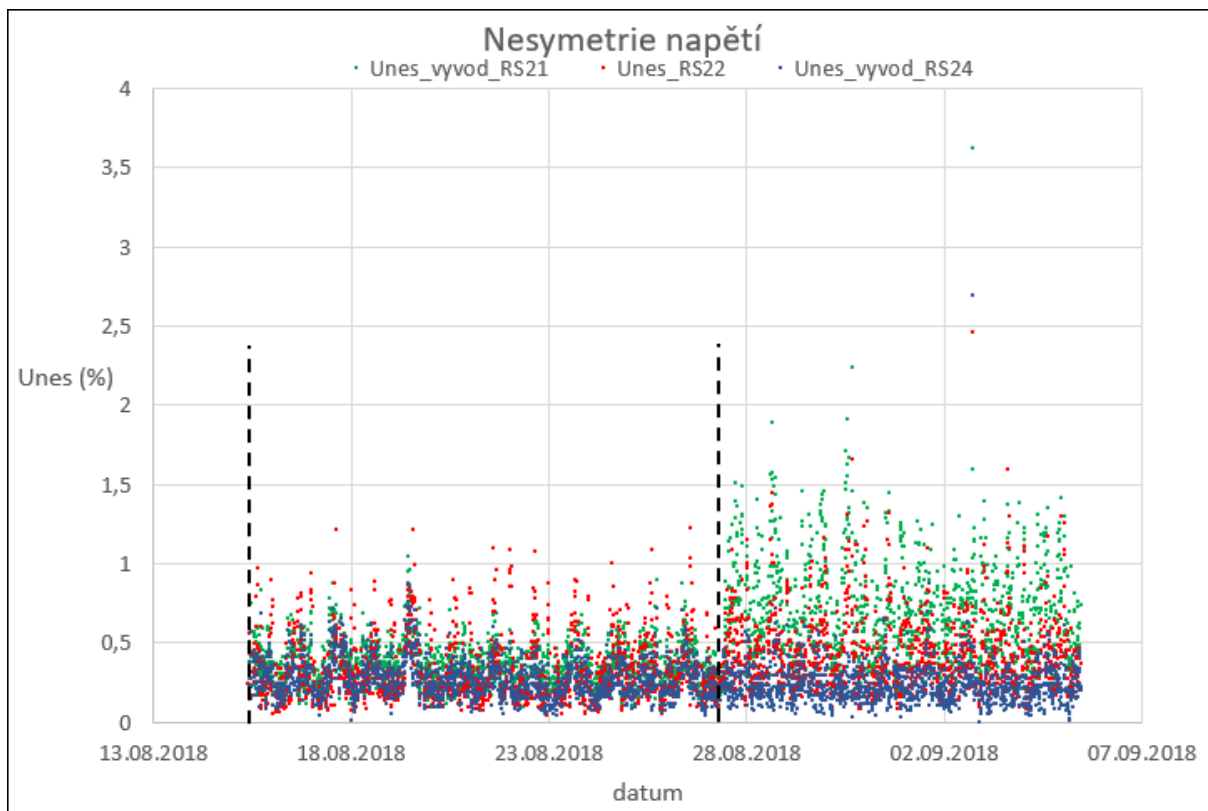
Shrnutím těchto grafů zobrazujících měřené napětí lze říci, že propojení je pro kvalitu napětí výhodnější.

Nesymetrie napětí

Na obrázku 6.39 je znázorněna nesymetrie napětí na obou distribučních transformátorech. Stejně jako napětí, je i nesymetrie napětí je přenášena z nadřazené soustavy, tedy ze sítě vn, a jak lze vidět z grafu, paralelní spojení nesymetrii napětí nijak neovlivnilo.



Obrázek 6.39 - nesymetrie napětí na obou distribučních transformátorech DTS3 a DTS4



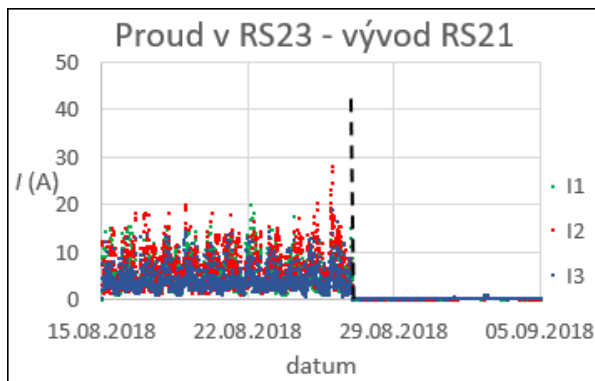
Obrázek 6.40 - nesymetrie napětí v ostatních místech měření

Na obrázku 6.40 jsou zobrazeny měřené nesymetrie ve třech částech sítě. Modře je vyobrazena nesymetrie v místě propojení na vývodu k RS24. Není zde viditelný rozdíl v nesymetrii mezi paralelním spojením a paprskovým provozem sítě. Zeleně je měření nesymetrie ve stejném místě (RS23), jen na druhém vývodu směrem k RS21. Tady už je znatelné zhoršení (zvýšení) nesymetrie napětí při rozpojení sítí. Červeně je označená nesymetrie měřená v RS22. Nesymetrie v této větvi byla vyšší než v RS23 už v paralelním propojení. Po rozpojení zde došlo k úplně nepatrnému spíše až zanedbatelnému zhoršení nesymetrie napětí.

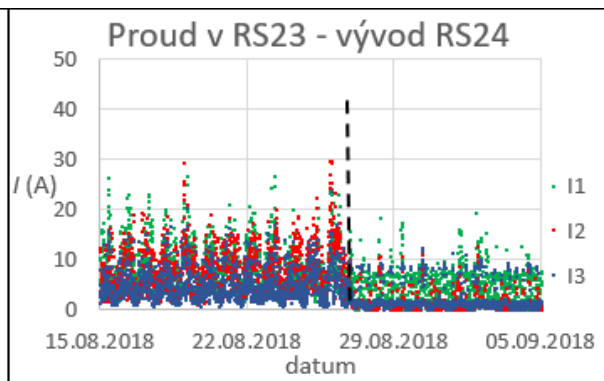
Z hlediska nesymetrie napětí se paralelní spojení sítí vyplatí.

Proud

Důležité je analyzovat proudy protékající skrze transformátory a v síti přes slabou vazbu. Je důležité zajistit, aby nedocházelo v přetokům výkonu, jako tomu bylo v předchozím případě.

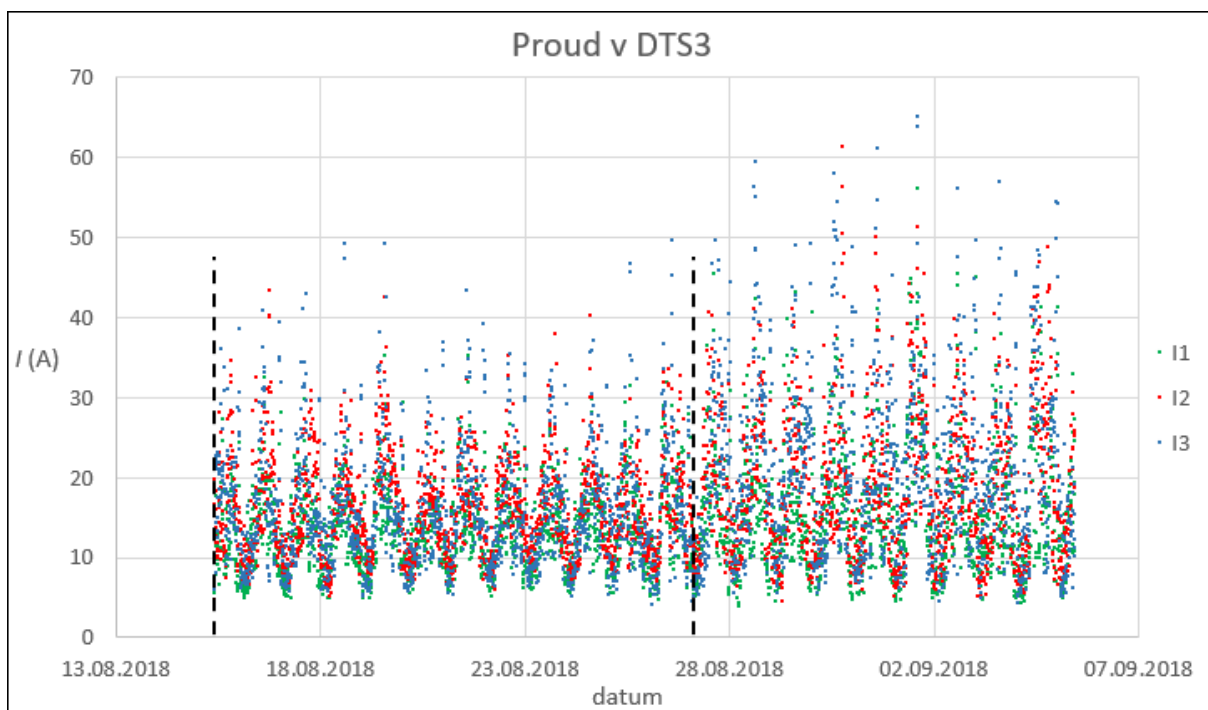


Obrázek 6.41 - proud v místě propojení, vývod RS21

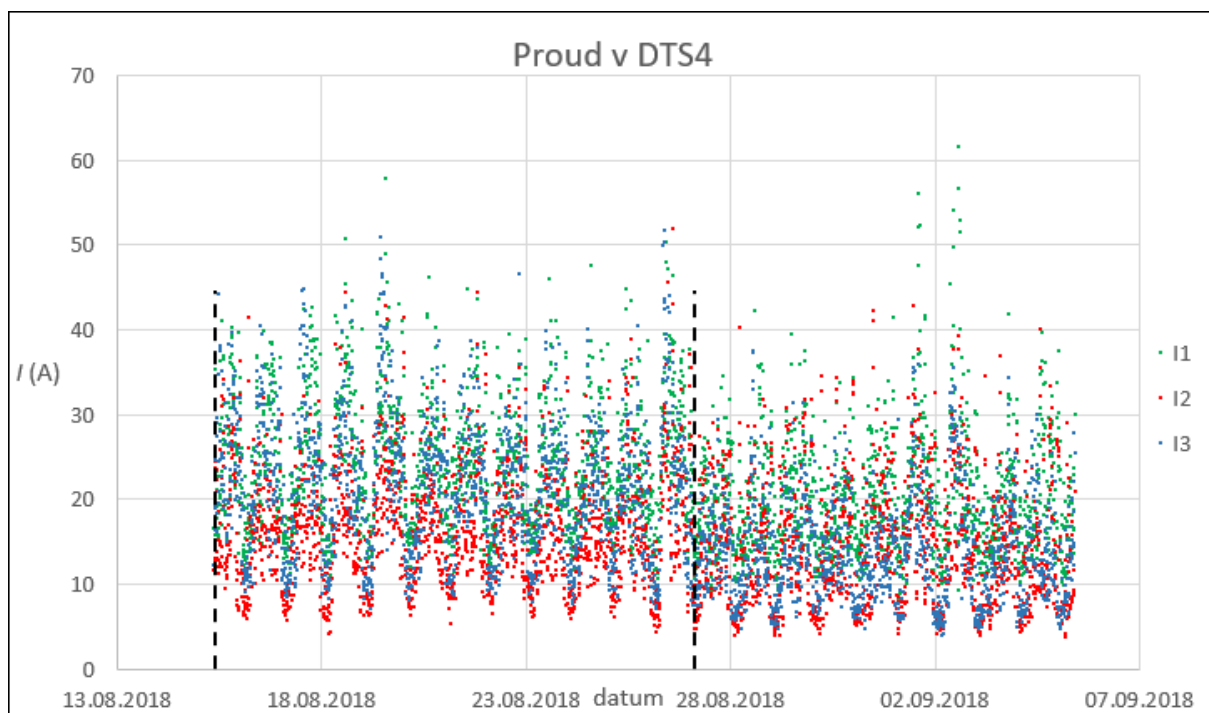


Obrázek 6.42 - proud v místě propojení, vývod RS24

Obrázek 6.41 a 6.42 ukazuje proudy v místě propojení sítí. Na obrázku 6.41 je po rozpojení proud logicky nulový. Na druhém vývodu dle obrázku 6.42 ovšem proud nulový není. Je zde měřen proud hlavně v jedné fázi a nepatrně zvýšené hodnoty ve zbývajících dvou fázích. To je způsobeno tím, že v rozpojovací skříni RS23 jsou přímo připojeny dva odběry. Proto je zde v rozpojeném stavu měřen průtok proudu. Měřicí přístroj byl umístěn na vývodu směrem do sítě, takže měření probíhalo mezi sítí a těmito dvěma odběry.



Obrázek 6.43 - proud na distribučním transformátoru DTS3

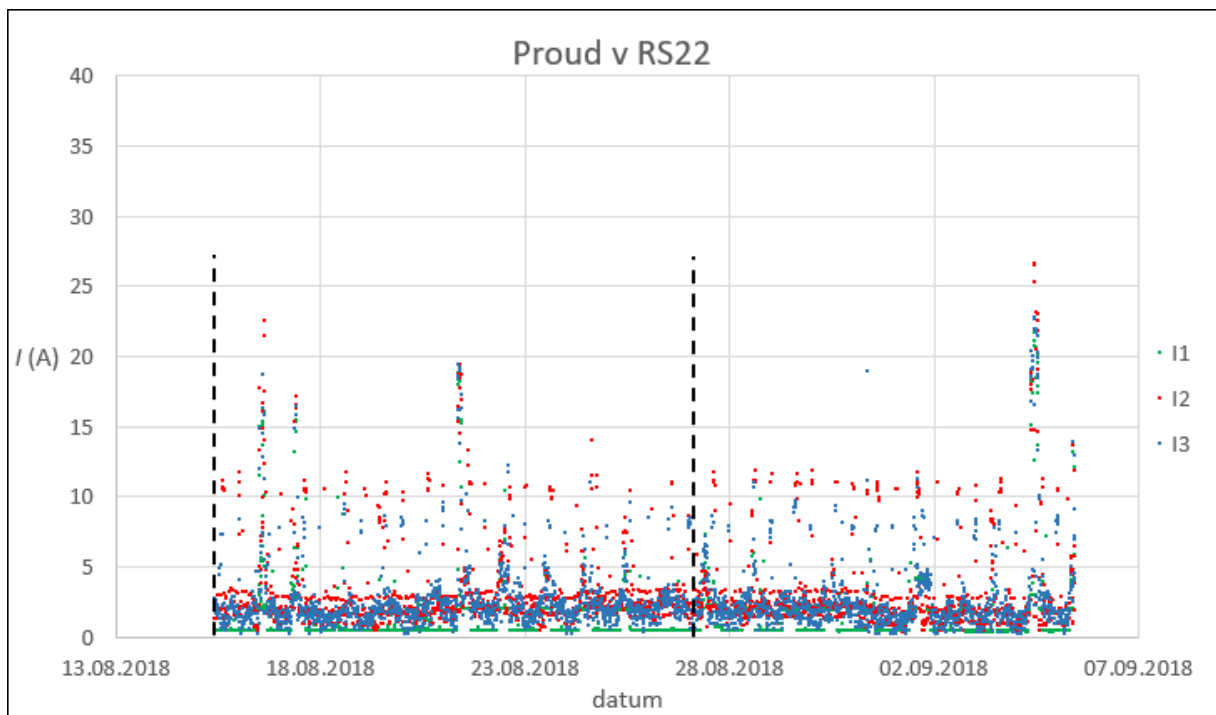


Obrázek 6.44 - proud na distribučním transformátoru DTS3

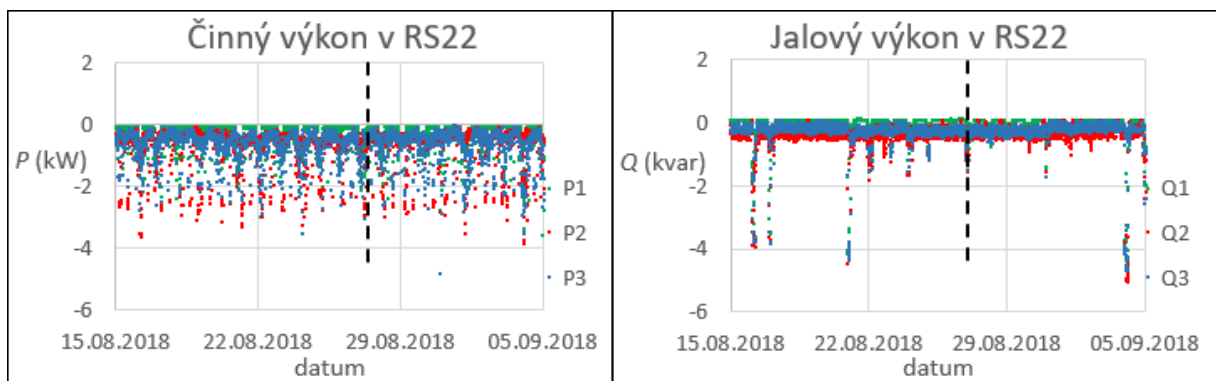
Obrázky 6.43 a 6.44 zobrazují proudy na distribučních transformátorech DTS3 a DTS4. Je vidět, že na distribučním transformátoru DTS3 byl proud v době paralelního propojení nepatrně menší než po rozpojení. Naopak na DTS4 byl v době paralelního propojení proud větší než po rozpojení. Při porovnání těchto dvou grafů je však vidět, že v době paralelního propojení sítě se proud na obou distribučních transformátorech přiblížil ke stejné průměrné hodnotě. Z toho vyplývá, že se vyrovnalo zatížení obou transformátorů.

Proudy a výkony v rozpojovací skříni RS22

Rozpojovací skříň RS22 se nachází ve větvi v síti napájené distribučním transformátorem DTS3. Jelikož je to jen paprsek, který je jednostranně připojený, tak je předpokladem to, že paralelní propojení sítě by vůbec nemělo ovlivnit tok výkonu k odběratelům. Jejich spotřeba je totiž nezávislá na druhu provozu sítě. Může se jen mírně lišit velikost proudu v závislosti na změně napětí z důvodu paralelního spojení.



Obrázek 6.45 - proud měřený v RS22

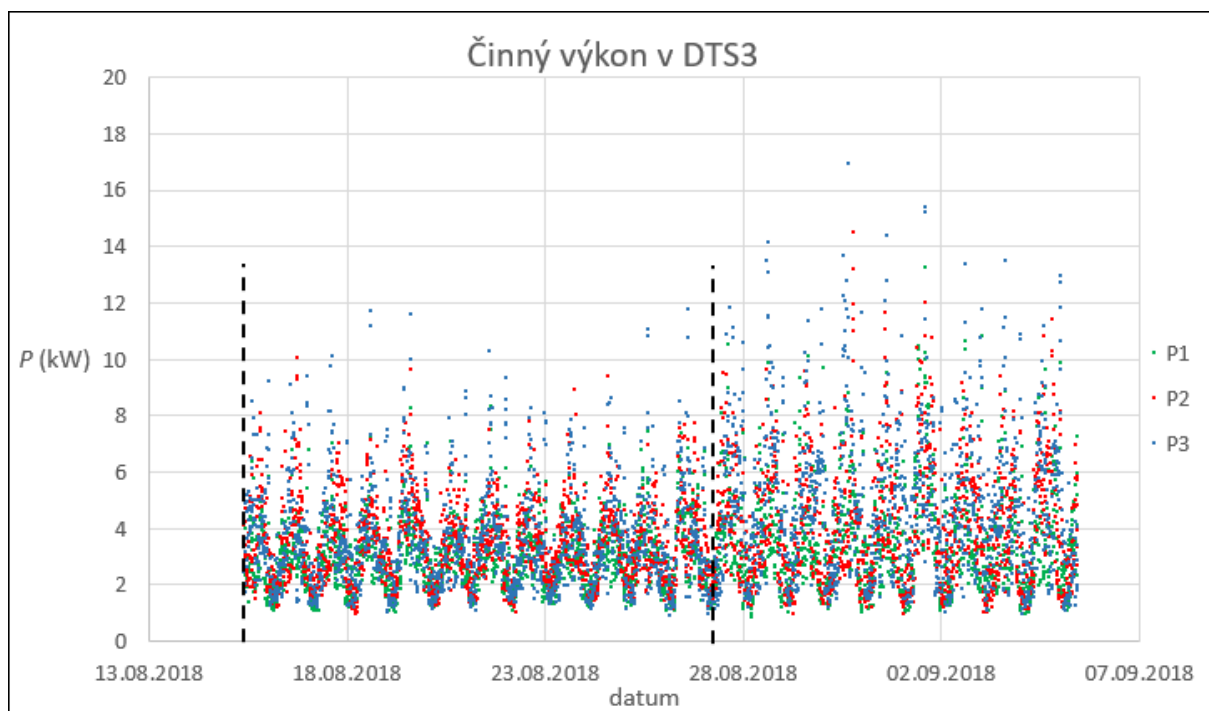


Obrázek 6.47 - činný výkon měřený v RS22

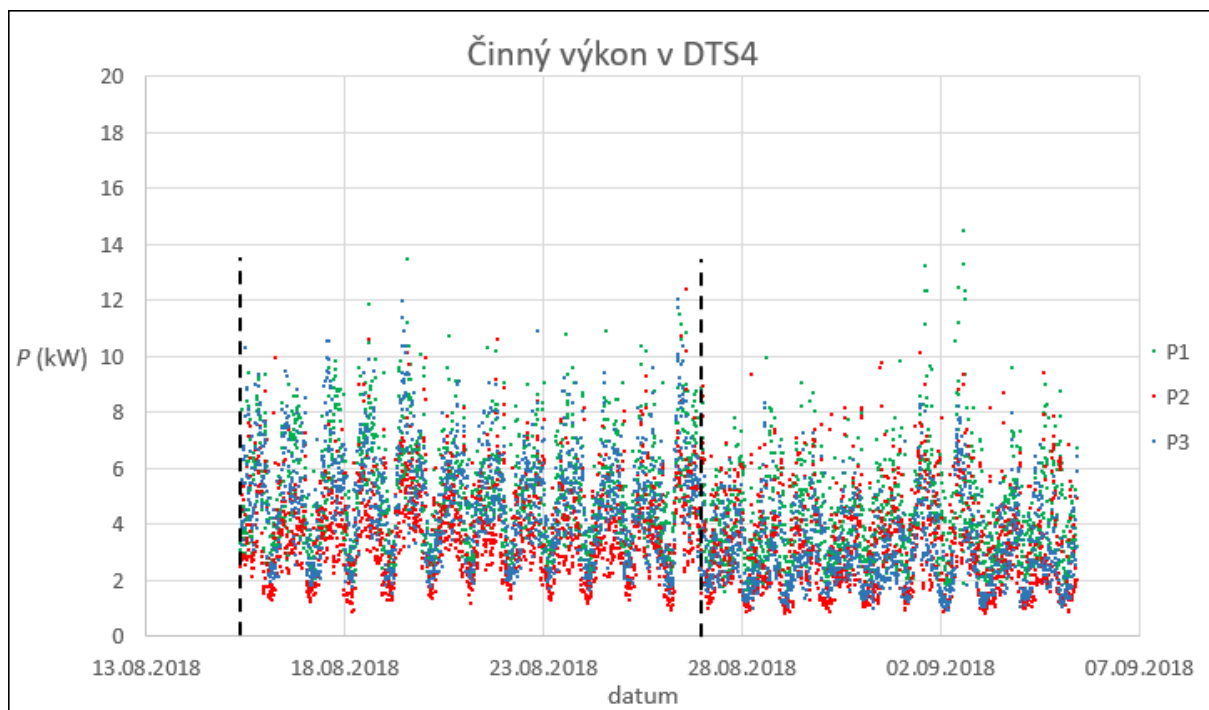
Obrázek 6.46 - jalový výkon měřený v RS22

Předpoklad, že proudy ani výkony nebudou propojením nijak ovlivněny byl správný. Obrázky 6.45, 6.46 a 6.47 to potvrzují a je zřetelné, že po rozpojení zde nejsou žádné změny v měřených veličinách.

Činný výkon

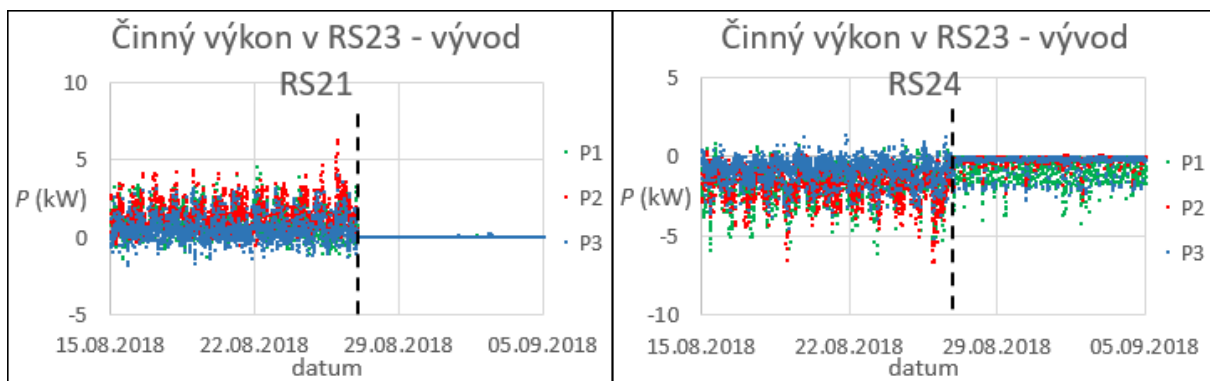


Obrázek 6.48 - činný výkon měřený na DTS3



Obrázek 6.49 - činný výkon měřený na DTS4

Dle obrázku 6.48 a 6.49 vidíme, že činný výkon téměř kopíruje graf proudu měřený na distribučních transformátorech. Z toho lze vyvodit, že zde nedochází k žádnému zbytečnému přetékání jalových proudů, jak tomu bylo v předchozím případě v kapitole 6.1.

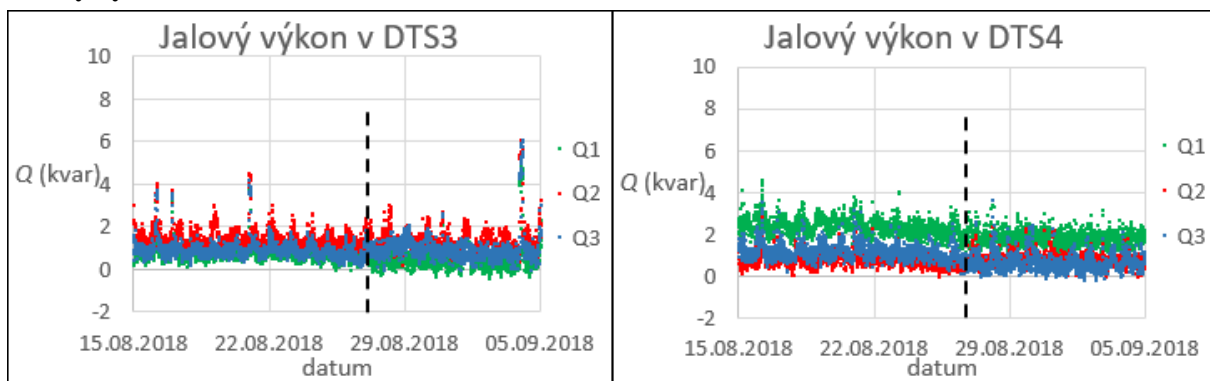


Obrázek 6.50 - činný výkon v RS23 - vývod RS21

Obrázek 6.51 - činný výkon v RS23 - vývod RS24

Také výkon v místě propojení v rozpojovací skříni RS23 je téměř identický s proudem. Na obrázku 6.50 je vidět, že zde po rozpojení neprotékal proud (tzn. ani výkon). V případě vývodu RS24 je zde měřen výkon dvou odběratelů (viz obrázek 6.51) připojených přímo do RS23, jak již bylo uvedeno výše.

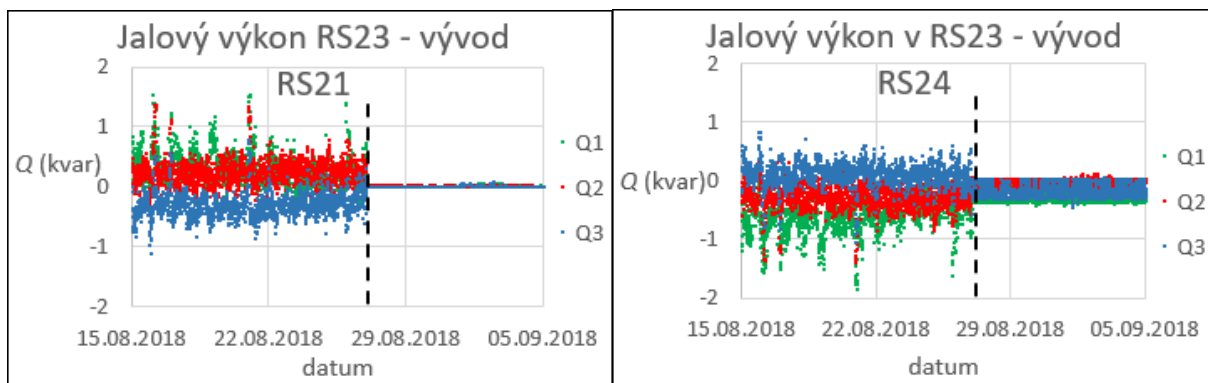
Jalový výkon



Obrázek 6.53 - jalový výkon měřený na DTS3

Obrázek 6.52 - jalový výkon měřený na DTS4

Na obrázku 6.52 a 6.53 je vidět, že v době paralelního provozu sítě se jalová energie dodávala pouze směrem do sítě, kde se přes propojení v případě potřeby rozdělila do druhé sítě. To je pravděpodobně způsobeno rozdílnou spotřebou jalové energie v jednotlivých fázích. V propojeném stavu v případě nedostatku nebo přebytku jalové energie mohlo dojít k malému přetoku přes slabou vazbu a vyrovnaní bilance jaloviny. Po rozpojení je vidět, že v určitých fázích jalová energie přebývala a docházelo k toku do nadřazené sítě (to však pouze ve velmi malých množstvích – viz grafy na obrázku 6.52 a 6.53).



Obrázek 6.55 - jalový výkon měřený v RS23 - vývod RS21

Obrázek 6.54 - jalový výkon měřený v RS23 - vývod RS24

Jak bylo zmíněno výše, při paralelním propojení sítí je vidět dle obrázku 6.54 a 6.55, že v místě spojení docházelo k přetokům potřebné jalové energie. Z grafů je dokonce vidět, že jalová energie netekla jedním směrem ve všech fázích, ale naopak v každé fázi dle potřeby. Na obrázku 6.54 opět vidíme, že i po rozpojení je zde měřený jalový výkon z důvodu připojení odběratelů přímo do RS23.

Shrnutí

Napětí se v paralelním propojení viditelně ustálilo. Nebyly vidět takové změny napájecího napětí jako v případě provozu paprskové sítě. Tím se viditelně také zlepšila (snížila) nesymetrie napětí. Proudů se rovnoměrněji rozložily na distribuční transformátory, a ty tak byly oba rovnoměrně zatížené. S proudy souvisí i výkony. Jelikož jsou oba transformátory připojeny ke stejné síti vn (geograficky relativně blízko), není zde téměř žádný rozdíl ve velikosti napětí a úhlu, a proto nedochází k žádnému přetoku jalového nebo činného výkonu skrz síť nn. Propojením bylo také dosaženo lepší bilance jalových výkonů, kde jalovina (i činný výkon) mohla volně přetékat mezi sítěmi tam, kde ji bylo zrovna potřeba. Ze všech zkoumaných hledisek se tedy charakteristiky sítě v paralelním provozu zlepšily, a proto je výhodnější tyto dvě sítě v paralelním zapojení provozovat.

Závěr

Diplomová práce se zabývala paralelním provozem sítí nízkého napětí. V tomto případě se jedná o modelaci reálných sítí, předpoklady pro jejich provoz v propojeném stavu a následné zpracování a vyhodnocení naměřených dat.

Distribuční společnost ČEZ Distribuce a.s. poskytla data ze čtyř (dvě dvojice sítí) distribučních sítí. V probíhalo měření po dobu cca jednoho měsíce. Za tuto dobu byla vždy každá z dvojic sítí paralelně spojena na 10 až 14 dní. Jedna dvojice sítí se nacházela na okraji většího města, druhá byla použita z vesnice.

K simulování ustáleného chodu a následně i poruch byly využity modely těchto sítí. Z ustáleného chodu sítě 1 lze zjistit napětí ve všech zobrazených odběrech. To bylo provedeno pro rozpojený stav sítí A a B, a následně i pro paralelně spojené sítě. V příloze A v tabulce A.1 jsou zaznamenána všechna napětí a jejich rozdíl při dvou stavech zapojení sítí. Je zřejmé, že po propojení došlo k vyrovnání napětí v síti 1. V síti A (hlavně odběry na konci větví a v okolí propojení) došlo díky propojení v některých odběrech k navýšení napětí až o 20 V. V síti B došlo naopak ke snížení napětí, maximálně však o 4 V, což je v porovnání se zvýšením v síti A zanedbatelné. Simulace ustáleného chodu tedy ukazuje, že napětí by se propojením mělo výrazně zlepšit. Následná simulace poruch ukázala, že mnoho odběrů není vypnuto v požadovaném čase podle normy PNE 33 0000-1 ed. 6, která uvádí čas 30 sekund. V příloze B v tabulce B.1 jsou vypínací časy všech odběrů bez změny pojistek v rozpojeném stavu. Zjištěno bylo, že celkem 21 odběrů je vypnuto v čase přesahujících 30 sekund. Po úpravě pojistky v rozpojovací skřini RS3 a RS4 ze 125 A na 100 A se situace velmi zlepšila. Hodnoty vypínacích časů jsou uvedeny v příloze B v tabulce B.2. Pouze 3 odběry přesahovaly čas 30 sekund, ale jelikož by nebylo vhodné více snižovat hodnoty pojistek, dají se tyto časy považovat za přijatelné. V paralelním propojení sítí A a B se zvýšily poruchové proudy, a proto pojistka v RS3 mohla zůstat na hodnotě 125 A. Naopak odběry za RS4 stále nesplňovaly požadované časy vypnutí. Proto byla opět snížena pojistka v RS4 na 100 A a pojistka slabé vazby byla navržena na hodnotu 63 A. Všechny vypínací časy v takovém zapojení s těmito pojistkami jsou uvedené v příloze B tabulka B.3.

Stejně byla modelována síť 2. Opět byla provedena simulace ustáleného chodu sítí. Napětí všech odběrů jsou uvedena v příloze A tabulka A.2. Z této tabulky lze vidět, že po propojení došlo opět ke zlepšení hladiny napětí zejména v síti C z rozpojovací skřini RS23. Po propojení zde došlo k nárůstu napětí až o 10 V, kdežto v druhé síti napětí kleslo pouze maximálně o 4 V. Tohle jako v předchozím případě potvrzuje, že se vyplatí sítě paralelně propojit. Následně byla provedena opět simulace selektivity jištění. V rozpojeném stavu nesplňoval vypínací čas pouze jeden odběr (25). Úpravou pojistky v rozpojovací skřini RS21 z hodnoty 125 A na hodnotu 100 A byl tento čas snížen na požadovanou hodnotu. V příloze B v tabulce B.4 jsou všechny vypínací časy pro rozpojený stav sítí bez úpravy pojistek, v tabulce B.5 jsou vypínací časy po úpravě pojistky v RS21 na hodnotu 100 A. V paralelním propojení byl problémový opět pouze jeden odběr (25). Byla navržena pojistka slabé vazby v RS23 na hodnotu 50 A a také snížena pojistka v RS21 na 100 A, aby byl vypínací čas tohoto odběru menší než 30 sekund. Všechny vypínací časy pro paralelní propojení sítí s pojistkou slabé vazby 50 A a pojistkou v RS21 100 A jsou uvedeny v příloze B v tabulce B.6.

Po této modelaci a všech simulacích byla provedena analýza dat a bylo zjištěno, že první síť, která se nacházela na okraji města, odpovídala všem požadovaným charakteristikám požadovaných normou

ČSN EN 50160 a to jak v rozpojeném, tak i propojeném stavu. Po této analýze bylo zjišťováno, jaký vliv propojení mělo. Nejdřív bylo vykresleno napětí za celý měřený interval. S napětím souvisí také nesymetrie napětí. Podle těchto dvou hledisek se kvalita napájecího napětí zlepšila. Další zobrazovanou veličinou byl proud. Při zobrazení proudu v celé délce měření bylo zjištěno, že proud se po propojení na obou distribučních transformátorech zvýšil. Jelikož se od paralelního propojení očekává rovnoměrné rozdělení zatížení na oba distribuční transformátory, zvýšení proudu na obou DTS znamenalo, že toto spojení nevypadá výhodně. To potvrdilo vykreslení grafů výkonů, přesněji jalového výkonu. Díky jeho grafu z dat v měřených místech na transformátorech a slabé vazbě bylo zjištěno, že skrze tuto síť protéká jalový proud, respektive jalový výkon. Jednalo se o cca 5 kvar v každé fázi. Při dalším zkoumání bylo zjištěno, že ačkoliv jsou DTS těchto dvou sítí geograficky poměrně blízko (desítky či stovky metrů), každé bylo napájeno jinou sítí vn. Tyto dvě sítě vn sice byly napájeny ze stejné sítě vvn, ale transformátory, které tyto vn sítě napájely, byly od sebe geograficky poměrně velmi daleko (desítky kilometrů). To zapříčinilo rozdíl v napětí či fázovém posunu napětí v jednotlivých sítích vn a propojením těchto dvou sítí nn docházelo k přetokům vyrovnávacích proudů z jedné vn sítě do druhé. V tomto případě paralelní provoz dvou zmíněných sítí není vhodný, protože by byla distribuční síť nízkého napětí zbytečně zatěžována přetoky jalového proudu.

Analyzována byla také síť 2. Dle naměřených a vyhodnocených dat v této síti dochází k překročení dlouhodobé míry flikru. V takovém případě je nutné provést zkoumání a po zjištění příčiny provést nápravu. Zdrojem flikru bývají spotřebiče připojené do sítě, proto je většinou nutné hledat na straně odběratelů. Vše ostatní normu ČSN EN 50160 splňovalo. Proto bylo opět vše zobrazeno v grafech a posuzováno, zda došlo ke zlepšení či zhoršení a vzájemnému ovlivnění sítí. Podle všech měřených a zobrazených veličin bylo zjištěno, že po paralelním propojení došlo k celkovému zlepšení provozu těchto dvou sítí. Je tedy vhodné je v tomto propojení provozovat.

Seznam literatury

- [1] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] PROCHÁZKA, Radek. *Druhy elektrického silnoproudého rozvodu* [online]. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4035-druhy-elektrickeho-silnoproudeho-rozvodu>
- [3] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [4] ČSN EN 50160 *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*; 2000
- [5] Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb. ČEZ Distribuce a.s. [online]. [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/vyhlaskey-platne/vyhlaska-540_2005-zneni-ucinne-od-27_02_2010.pdf
- [6] Pravidla provozování distribučních soustav příloha č. 2 Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí. ČEZ Distribuce, a.s. [online]. 2019 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017_priloha-2.pdf
- [7] PNE 33 0000-1 ed. 6. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě* [online]. 2019 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: https://www.csres.cz/Upload/PodnikoveNormy/pne-33-0000-1_ed6-ochrana-pred-urazem-elektrickym-proudem-v-distribucnich-soustavach-a-prenosove-soustave.pdf
- [8] PAS DAISY OFF LINE v.4.4x BIZON - Uživatelská příručka. únor 2016 – verze příručky 1.62

Seznam příloh

Příloha A: Tabulka napětí všech odběrů v ustáleném chodu sítě.....	I
Příloha B: Tabulka vypínacích časů všech odběrů	IV

Příloha A: Tabulka napětí všech odběrů v ustáleném chodu sítě

Tabulka A.1 - napětí v odběrech (rozpojeno/spojeno) pro ustálený chod sítě I

odběr	rozpojeno	spojeno	rozdíl napětí (V)	odběr	rozpojeno	spojeno	rozdíl napětí (V)
	U_f (V)	U_f (V)			U_f (V)	U_f (V)	
1	225	227	2	36	209	219	10
2	223	226	3	37	209	222	13
3	222	226	4	38	208	223	15
4	222	225	3	39	207	227	20
5	220	225	5	40	207	221	14
6	215	225	10	41	206	222	16
7	214	218	4	42	206	225	19
8	214	223	9	43	206	222	16
9	212	222	10	44	206	222	16
10	212	224	12	45	206	224	18
11	212	226	14	46	206	222	16
12	211	222	11	47	206	221	15
13	210	221	11	48	206	221	15
14	210	219	9	49	206	223	17
15	209	221	12	50	206	221	15
16	210	221	11	51	207	218	11
17	209	219	10	52	207	226	19
18	208	226	18	53	207	219	12
19	208	221	13	54	207	225	18
20	208	219	11	55	206	219	13
21	208	219	11	56	206	219	13
22	208	223	15	57	206	226	20
23	208	224	16	58	206	223	17
24	208	219	11	59	206	226	20
25	207	223	16	60	206	219	13
26	207	221	14	61	206	223	17
27	207	224	17	62	207	219	12
28	207	223	16	63	207	225	18
29	207	218	11	64	206	225	19
30	207	221	14	65	206	218	12
31	207	218	11	66	206	221	15
32	207	226	19	67	206	224	18
33	207	223	16	68	206	225	19
34	210	222	12	69	206	224	18
35	209	223	14	70	206	220	14

odběr	rozpojeno	spojeno	rozdíl napětí (V)
	U_f (V)	U_f (V)	
71	206	225	19
72	206	223	17
73	206	225	19
74	206	219	13
75	230	226	-4
76	230	227	-3
77	230	227	-3
78	230	227	-3
79	230	227	-3
80	230	227	-3
81	230	229	-1
82	230	229	-1
83	230	229	-1
84	230	229	-1
85	230	229	-1
86	230	229	-1
87	230	228	-2
88	230	229	-1
89	230	229	-1
90	230	230	0
91	230	230	0
92	230	230	0
93	230	229	-1
94	230	229	-1
95	230	229	-1
96	230	229	-1
97	230	229	-1
98	230	229	-1
99	230	229	-1
100	230	229	-1
101	230	229	-1
102	230	229	-1
103	230	229	-1

Tabulka A.2 - napětí v odběrech (rozpojeno/spojeno) pro ustálený chod sítě 2

odběr	rozpojeno	spojeno	rozdíl napětí (V)	odběr	rozpojeno	spojeno	rozdíl napětí (V)
	U_f (V)	U_f (V)			U_f (V)	U_f (V)	
1	228	229	1	33	227	223	-4
2	219	223	4	34	227	223	-4
3	219	223	4	35	227	223	-4
4	219	222	3	36	227	223	-4
5	219	222	3	37	227	223	-4
6	219	222	3	38	227	224	-3
7	218	222	4	39	227	224	-3
8	218	222	4	40	227	224	-3
9	218	222	4	41	227	224	-3
10	218	222	4	42	227	225	-2
11	218	222	4	43	227	225	-2
12	218	222	4	44	227	225	-2
13	219	223	4	45	228	226	-2
14	219	223	4	46	228	226	-2
15	219	223	4	47	228	226	-2
16	219	223	4	48	228	226	-2
17	218	223	5	49	228	227	-1
18	217	222	5	50	228	227	-1
19	216	222	6	51	228	226	-2
20	216	222	6	52	229	228	-1
21	215	222	7	53	229	228	-1
22	215	222	7	54	229	228	-1
23	215	222	7	55	229	228	-1
24	214	222	8	56	229	229	0
25	214	222	8	57	229	229	0
26	214	222	8	58	229	228	-1
27	214	221	7	59	229	229	0
28	213	222	9	60	229	228	-1
29	213	222	9	61	228	224	-4
30	213	222	9	62	230	230	0
31	212	222	10	63	230	229	-1
32	227	223	-4	64	230	230	0

Příloha B: Tabulka vypínacích časů všech odběrů

Tabulka B.1- vypínací časy odběrů v rozpojeném stavu sítě 1

odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)
1	0,04	35	4,78	69	16,15
2	0,05	36	4,08	70	20,99
3	0,60	37	4,76	71	36,51
4	0,53	38	5,92	72	18,27
5	0,64	39	7,88	73	27,90
6	4,10	40	12,20	74	58,68
7	10,65	41	16,12	75	0,01
8	7,25	42	27,07	76	0,01
9	4,56	43	30,59	77	0,09
10	5,10	44	30,14	78	0,07
11	7,65	45	27,88	79	0,09
12	8,16	46	139,83	80	0,11
13	13,67	47	43,86	81	0,82
14	17,31	48	46,92	82	0,74
15	37,75	49	46,92	83	0,69
16	31,70	50	109,92	84	0,43
17	21,75	51	10,94	85	0,35
18	8,09	52	8,34	86	0,23
19	10,25	53	8,98	87	0,01
20	13,96	54	10,40	88	0,01
21	17,89	55	12,20	89	0,01
22	17,43	56	18,06	90	0,01
23	23,51	57	16,82	91	0,01
24	56,78	58	66,74	92	0,01
25	13,13	59	18,13	93	0,01
26	15,96	60	21,47	94	0,01
27	52,07	61	32,42	95	0,01
28	86,79	62	12,36	96	0,02
29	89,01	63	18,43	97	0,03
30	34,17	64	11,35	98	0,05
31	41,82	65	11,37	99	0,03
32	68,48	66	21,21	100	0,03
33	70,04	67	22,45	101	0,03
34	5,59	68	15,09	102	0,02
				103	0,01

Tabulka B.2 - vypínací časy v rozpojeném stavu sítě I (úprava pojistky v RS3 - 100 A, RS4 - 100 A)

odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)
1	0,04	35	4,78	69	8,00
2	0,05	36	4,08	70	9,77
3	0,60	37	4,76	71	13,91
4	0,53	38	5,92	72	8,85
5	0,64	39	4,25	73	11,68
6	4,10	40	6,35	74	18,73
7	10,65	41	7,99	75	0,01
8	7,25	42	11,45	76	0,01
9	4,56	43	12,40	77	0,09
10	5,10	44	12,28	78	0,07
11	7,65	45	11,67	79	0,09
12	8,16	46	35,48	80	0,11
13	13,67	47	15,67	81	0,82
14	17,31	48	16,37	82	0,74
15	37,75	49	16,37	83	0,69
16	31,70	50	29,95	84	0,43
17	21,75	51	5,81	85	0,35
18	4,36	52	4,50	86	0,23
19	5,50	53	4,84	87	0,01
20	7,09	54	5,57	88	0,01
21	8,70	55	6,35	89	0,01
22	8,51	56	8,77	90	0,01
23	10,45	57	8,27	91	0,01
24	18,38	58	20,27	92	0,01
25	6,75	59	8,80	93	0,01
26	7,92	60	9,88	94	0,01
27	17,47	61	12,87	95	0,01
28	25,02	62	6,42	96	0,02
29	25,53	63	8,92	97	0,03
30	13,32	64	5,98	98	0,05
31	15,19	65	5,99	99	0,03
32	20,69	66	9,82	100	0,03
33	21,07	67	10,14	101	0,03
34	5,59	68	7,57	102	0,02
				103	0,01

Tabulka B.3 - vypínací časy v propojeném stavu sítě I (pojistky RS6 - 63 A, RS4 - 100 A, RS3 - 125 A)

odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)
1	1,63	35	5,00	69	8,01
2	1,26	36	4,22	70	9,79
3	2,00	37	4,97	71	13,98
4	1,86	38	6,07	72	8,86
5	1,51	39	4,36	73	11,71
6	4,98	40	6,66	74	18,90
7	12,62	41	8,47	75	1,00
8	8,46	42	12,36	76	1,04
9	4,88	43	13,42	77	1,22
10	5,48	44	13,29	78	0,04
11	8,33	45	12,60	79	0,06
12	8,46	46	39,02	80	0,08
13	14,27	47	17,08	81	0,79
14	18,11	48	17,87	82	0,72
15	39,37	49	17,87	83	0,67
16	33,10	50	32,91	84	0,41
17	22,75	51	6,07	85	0,34
18	9,95	52	4,52	86	0,22
19	12,99	53	4,87	87	1,29
20	18,13	54	5,63	88	1,33
21	23,76	55	6,45	89	1,38
22	23,09	56	9,03	90	0,01
23	31,43	57	8,49	91	0,01
24	15,82	58	21,34	92	0,01
25	16,94	59	9,05	93	0,01
26	20,89	60	10,22	94	0,01
27	14,65	61	13,40	95	0,01
28	21,54	62	6,52	96	0,02
29	22,16	63	9,20	97	0,03
30	10,53	64	5,99	98	0,05
31	12,29	65	6,00	99	0,03
32	17,56	66	9,84	100	0,03
33	17,84	67	10,16	101	0,03
34	6,28	68	7,58	102	0,02
				103	0,01

Tabulka B.4 - vypínací časy odběrů v rozpojeném stavu sítě 2

odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)
1	1,45	33	8,91
2	1,51	34	8,08
3	2,19	35	7,10
4	3,97	36	6,18
5	3,15	37	5,42
6	3,43	38	4,70
7	5,72	39	4,12
8	4,67	40	3,55
9	8,42	41	2,80
10	10,92	42	2,51
11	0,92	43	2,22
12	12,58	44	2,68
13	2,00	45	2,33
14	2,71	46	1,65
15	3,88	47	1,42
16	6,02	48	1,09
17	1,34	49	0,66
18	1,90	50	0,21
19	2,71	51	1,90
20	3,06	52	0,12
21	3,42	53	0,12
22	4,12	54	0,06
23	4,81	55	0,01
24	8,42	56	0,01
25	70,48	57	0,02
26	5,61	58	1,04
27	7,13	59	0,87
28	7,15	60	1,48
29	8,94	61	2,40
30	10,51	62	0,01
31	17,54	63	0,01
32	10,85	64	0,14

Tabulka B.5 - vypínací časy v rozpojeném stavu sítě 2 (úprava pojistky v RS21 - 100 A)

odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)
1	1,45	33	8,91
2	1,51	34	8,08
3	2,19	35	7,10
4	3,97	36	6,18
5	3,15	37	5,42
6	3,43	38	4,70
7	5,72	39	4,12
8	4,67	40	3,55
9	8,42	41	2,80
10	10,92	42	2,51
11	0,92	43	2,22
12	12,58	44	2,68
13	2,00	45	2,33
14	2,71	46	1,65
15	3,88	47	1,42
16	6,02	48	1,09
17	0,64	49	0,66
18	0,95	50	0,21
19	1,40	51	1,90
20	1,60	52	0,12
21	1,80	53	0,12
22	2,20	54	0,06
23	2,59	55	0,01
24	4,54	56	0,01
25	21,17	57	0,02
26	3,04	58	1,04
27	3,85	59	0,87
28	3,87	60	1,48
29	4,82	61	2,40
30	5,62	62	0,01
31	8,56	63	0,01
32	10,85	64	0,14

Tabulka B.6 - vypínací časy v propojeném stavu sítě 2 (pojistky RS21 - 100 A, RS23 - 50 A)

odběr	vypínací čas (s)	odběr	vypínací čas (s)
1	1,43	33	9,15
2	1,96	34	8,31
3	2,94	35	7,33
4	5,83	36	6,41
5	4,44	37	5,63
6	4,92	38	4,91
7	9,08	39	4,32
8	7,07	40	3,74
9	5,43	41	2,96
10	7,18	42	2,67
11	0,63	43	2,36
12	8,16	44	2,83
13	2,67	45	2,48
14	3,73	46	1,82
15	5,67	47	1,60
16	9,69	48	1,29
17	0,83	49	0,88
18	1,16	50	0,46
19	1,61	51	2,80
20	1,80	52	0,41
21	1,99	53	0,45
22	2,39	54	0,41
23	2,78	55	0,35
24	4,97	56	0,01
25	25,17	57	0,02
26	3,19	58	1,04
27	4,07	59	0,87
28	3,99	60	1,48
29	4,95	61	2,41
30	5,79	62	0,01
31	8,90	63	0,01
32	11,08	64	0,14